

**Библиотека
ЭЛЕКТРОМОНТЕРА**



Н. Д. ТОРОПЦЕВ

**ТРЕХФАЗНЫЙ
АСИНХРОННЫЙ
ДВИГАТЕЛЬ
В СХЕМЕ
ОДНОФАЗНОГО
ВКЛЮЧЕНИЯ
С КОНДЕНСАТОРОМ**



Выпуск 305

Н. Д. ТОРОПЦЕВ

ТРЕХФАЗНЫЙ
АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ
В СХЕМЕ ОДНОФАЗНОГО
ВКЛЮЧЕНИЯ С КОНДЕНСАТОРОМ

Издание 2-е, доп.



«ЭНЕРГИЯ»

МОСКВА 1970

6П2.12

Т 61

УДК 621.313.333.025.3.062

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Большаков Я. М., Ежков В. В., Каминский Е. А., Мандрыки С. А.,
Синьчугов Ф. И., Смирнов А. Д., Устинов П. И.

Торопцев Н. Д.

59 Трехфазный асинхронный двигатель в схеме
однофазного включения с конденсатором. Изд. 2-е,
доп. М., «Энергия», 1970.

64 с. с илл. (Б-ка электромонтера. Вып. 305).

В брошюре рассматриваются возможности и особенности применения трехфазного асинхронного двигателя нормального исполнения в качестве конденсаторного. Описаны различные схемы включения. Даны простые соотношения для определения рабочей емкости конденсатора. Изложены требования техники безопасности при обслуживании конденсаторов.

Брошюра рассчитана на электромехаников и электромонтеров, связанных с эксплуатацией асинхронных двигателей.

3-3-10

126-70

6П2.12

Торопцев Николай Демидович

**Трехфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения
с конденсатором**

Редактор *Г. Г. Родин*

Обложка художника *А. А. Иванова*

Технический редактор *М. П. Осипова*

Корректор *Н. В. Лобанова*

Сдано в набор 22/1 1970 г.

Подписано к печати 18/XI 1970 г.

Т-15190

Формат 84×108/32

Бумага типографская № 2

Усл. печ. л. 3,36

Уч.-изд. л. 3,27

Тираж 20 000 экз.

Цена 12 коп.

Зак. 1242

Издательство «Энергия». Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10.

Московская типография № 10 Главополиграфпрома
Комитета по печати при Совете Министров СССР.
Шлюзовая наб., 10.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В связи с достижениями в производстве конденсаторов с улучшенными технико-экономическими показателями создаются благоприятные возможности для расширения применения конденсаторного двигателя с тремя статорными обмотками. Такой двигатель прост, надежен, работает от двухпроводной сети и имеет высокий коэффициент мощности.

Наилучшее использование мощности конденсаторного двигателя достигается путем надлежащего выбора рабочей емкости, схемы включения и конденсаторов по напряжению.

В ответ на просьбы многих читателей брошюры «Применение трехфазного асинхронного двигателя в схеме однофазного включения с конденсатором» (Госэнергоиздат, 1963) в настоящем издании описан характер изменения токов статорных обмоток с изменением нагрузки, дано расчетное определение рабочей емкости и рассмотрены векторные диаграммы конденсаторного двигателя.

Автор выражает благодарность рецензентам: член-корр. АН СССР, доктор техн. наук, проф. Г. Н. Петрову и канд. техн. наук, доценту Ф. М. Юферову — за ценные замечания, сделанные ими при просмотре рукописи.

Все замечания и пожелания автор просит направлять по адресу: Москва, М-114, Шлюзовая наб., 10, издательство «Энергия».

1. АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ ТРЕХФАЗНОГО ТОКА. ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ

Широкое распространение в различных отраслях народного хозяйства получили асинхронные двигатели трехфазного тока с короткозамкнутым ротором. Они не имеют скользящих контактов, просты по устройству и обслуживанию.

Двигатель с короткозамкнутым ротором в разобранном виде показан на рис. 1.

Сердечники статора и ротора набирают из листов электротехнической стали. Стержни обмотки ротора замыкаются накоротко, образуя так называемую беличью клетку. Выводы обмотки статора маркируют, благодаря чему облегчается сборка нужной схемы соединения (звезда или треугольник).

В соответствии с ГОСТ 183-66 приняты следующие обозначения выводов обмоток отдельных фаз: начало и конец первой фазы C_1 и C_4 , второй C_2 и C_5 и третьей C_3 и C_6 . Расположение зажимов на щите двигателя (рис. 2) должно удовлетворять требованию простоты соединения обмоток по любой схеме.

Трехфазный ток, проходя по обмоткам статора, создает вращающееся магнитное поле. Скорость вращения поля называется *синхронной* скоростью.

Ротор асинхронного двигателя, вращаясь в направлении движения поля, развивает скорость, несколько меньшую, чем синхронная, называемую *асинхронной*. Отставание ротора характеризуется *скольжением* s .

Если скорость вращения поля обозначить через n_1 , а скорость вращения ротора через n_2 , то соотношение для скольжения получит вид:

$$s = \frac{n_1 - n_2}{n_1} \quad (1)$$

Из этого выражения следует, что скольжение асинхронного двигателя изменяется от единицы (при пуске, когда $n_2=0$) до нуля (при синхронной скорости вращения, т. е. когда $n_2=n_1$). Заметим, что точного равенства скоростей вращения поля и ротора в двигательном режиме не достигается. Однако отставание ротора на

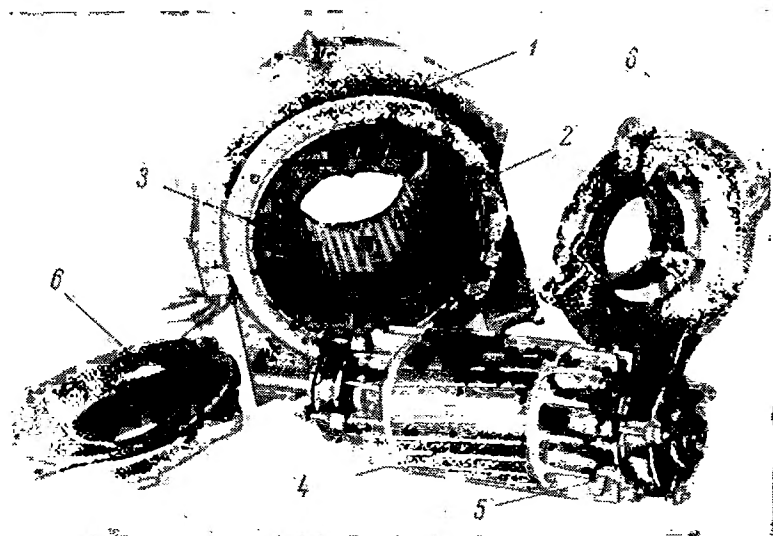


Рис. 1. Асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором в разобранном виде.

1 — корпус; 2 — сердечник статора; 3 — обмотка статора; 4 — ротор; 5 — вентилятор; 6 — подшипниковые щиты.

холостом ходу машины так мало, что им можно пренебречь.

Скольжение может быть выражено в процентах:

$$s^0/\% = \frac{n_1 - n_2}{n_1} 100. \quad (2)$$

Значения скольжений при полной нагрузке двигателя обычно составляют 4—6%. Это означает, что ротор, вращаясь в направлении поля, отстает от него на 4—6%.

Развиваемая двигателем мощность в пределах нормальных нагрузок пропорциональна скольжению.

Поэтому о нагрузке машины можно судить по величине скольжения.

Использование мощности двигателя в процессе его эксплуатации может быть различным. *Номинальным* режимом называется такой режим, при котором двига-

тель должен нормально работать в течение всего срока службы. Номинальному режиму соответствует номинальное напряжение. Двигатель потребляет при этом номинальный ток, имея номинальные значения скорости вращения, мощности на валу, к. п. д. и коэффициента мощности ($\cos \varphi$).

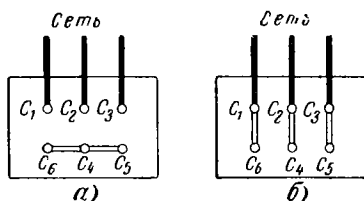


Рис. 2. Расположение зажимов на щитке двигателя.

а — при соединении звездой; *б* — при соединении треугольником.

Назначение двигателя состоит в преобразовании электрической энергии в механическую. В процессе преобразования возникают потери. Они представляют ту часть активной мощности, которая расходуется на нагревание меди обмоток, стали сердечника статора и преодоление сил трения.

Отношение полезной мощности, развиваемой двигателем на валу, к активной мощности, потребляемой им из сети, называется *коэффициентом полезного действия*

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} \quad (3)$$

Кроме активной двигатель потребляет реактивную намагничивающую мощность, необходимую для образования магнитного потока. Таким образом, полная мощность двигателя S состоит из активной и реактивной составляющих:

$$S = \sqrt{P_1^2 + Q^2} \quad (4)$$

где Q — реактивная мощность двигателя.

Об относительной величине преобразованной мощности судят по коэффициенту мощности. Чем лучше используется мощность машины, тем выше коэффициент мощности. Для вычисления его достаточно активную

мощность P_1 разделить на полную:

$$\cos \varphi = \frac{P_1}{S} = \frac{P_1}{3UI}, \quad (5)$$

где U, I — фазные значения напряжения и тока.

Пример. На щитке трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором имеются следующие обозначения: Δ/λ — 220/380 в, 10,5/6,1 а, 2,8 квт, 50 гц, 2880 об/мин, к. п. д. 81,5%, $\cos \varphi = 0,86$. Из рассмотрения этих данных заключаем: номинальное напряжение фазы 220 в, номинальный фазный ток 6,1 а, полезная мощность $P_2 = 2,8$ квт, число пар полюсов $p = 1$. Так как синхронная скорость вращения

$$n_1 = \frac{60f}{p} \quad (6)$$

в данном случае равна 3000 об/мин, то скольжение при номинальной нагрузке составит:

$$s_n = \frac{3000 - 2800}{3000} 100 = 4\%.$$

Полная мощность двигателя при номинальной нагрузке

$$S_n = 3U_n I_n = 3 \cdot 220 \cdot 6,1 \approx 4000 \text{ в} \cdot \text{а} = 4 \text{ к} \cdot \text{ва}.$$

Активная мощность, потребляемая двигателем при номинальной нагрузке

$$P_1 = 3U_n I_n \cos \varphi_n = 3 \cdot 220 \cdot 6,1 \cdot 0,86 = 3,44 \text{ квт}.$$

Потери в двигателе при номинальной нагрузке

$$\Sigma \Delta P = P_1 - P_2 = 3,44 - 2,8 = 0,64 \text{ квт}.$$

Повышенные энергетические показатели имеют трехфазные асинхронные двигатели новой единой серии А2 и АО2. Основные технические данные двигателей небольшой мощности приведены в табл. 1. Двигатели этой серии мощностью до 3 квт изготовляют только на 220/380 в, т. е. на номинальное фазное напряжение 220 в.

По данным табл. 1 построены зависимости коэффициента мощности двигателей от их номинальной мощности при трех значениях синхронной скорости вращения (рис. 3). Из рассмотрения кривых следует, что коэффициент мощности асинхронного двигателя зависит от номинальной мощности и синхронной скорости вращения.

С увеличением мощности при постоянстве синхронной скорости вращения ($n_1 = \text{const}$) уменьшается относительная величина воздушного зазора. Благодаря этому относительная величина реактивной намагничивающей мощности также уменьшается, а коэффициент мощности

Таблица 1

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Синхронная скорость вращения	К. п. д.	cos φ
АО2 (АОЛ2) 11-6	0,4	1 000	0,68	0,65
АО2 (АОЛ2) 12-6	0,6	1 000	0,70	0,68
АО2 (АОЛ2) 11-4	0,6	1 500	0,72	0,76
АО2 (АОЛ2) 21-6	0,8	1 000	0,73	0,71
АО2 (АОЛ2) 12-4	0,8	1 500	0,745	0,78
АО2 (АОЛ2) 11-2	0,8	3 000	0,78	0,86
АО2 (АОЛ2) 22-6	1,1	1 000	0,76	0,73
АО2 (АОЛ2) 21-4	1,1	1 500	0,78	0,80
АО2 (АОЛ2) 12-2	1,1	3 000	0,795	0,87
АО2 (АОЛ2) 31-6	1,5	1 000	0,79	0,75
АО2 (АОЛ2) 22-4	1,5	1 500	0,8	0,81
АО2 (АОЛ2) 21-2	1,5	3 000	0,805	0,88
АО2 (АОЛ2) 32-6	2,2	1 000	0,81	0,77
АО2 (АОЛ2) 31-4	2,2	1 500	0,825	0,83
АО2 (АОЛ2) 22-2	2,2	3 000	0,83	0,89

возрастает. К такому же качественно результату приводит увеличение синхронной скорости вращения при условии $P_H = \text{const}$. Скоростные машины имеют меньшие габариты, у них существенно уменьшается объем воздушного пространства между сердечниками статора и ротора.

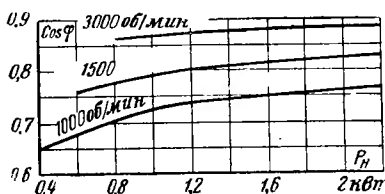


Рис. 3. Зависимости коэффициента мощности от номинальной мощности асинхронных двигателей при постоянной синхронной скорости вращения.

больше номинальная мощность двигателя и выше синхронная скорость вращения.

Переход от зависимостей, приведенных на рис. 3, к зависимостям рис. 4 производится с использованием следующих соотношений:

$$P_{1н} = \frac{P_H}{\eta_H}; \quad (7)$$

$$S_H = \frac{P_{1H}}{\cos \varphi_H}; \quad (8)$$

$$Q_H = S_H \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_H}, \quad (9)$$

где S_H , Q_H — полная и реактивная мощности двигателя при номинальной нагрузке.

Из сопоставления рис. 3 и 4 нетрудно сделать заключение о влиянии коэффициента мощности на энергетические показатели двигателей и питающей их системы. С увеличением $\cos \varphi$ происходит уменьшение удельной намагничивающей мощности. При этом полная мощность S также уменьшается. Таким образом, при одном и том же значении полезной мощности ток двигателя ограничивается. В результате обусловленные прохождением по ее обмоткам тока потери внутри машины и падение напряжения в проводах уменьшаются.

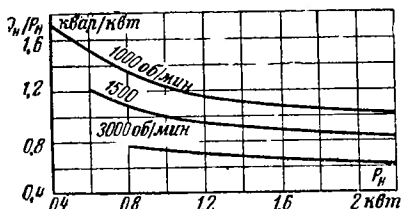


Рис. 4. Зависимости удельной намагничивающей мощности от номинальной мощности асинхронных двигателей при постоянной синхронной скорости вращения.

2. РАБОТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ТРЕМЯ СТАТОРНЫМИ ОБМОТКАМИ ОТ СЕТИ ОДНОФАЗНОГО ТОКА. СПОСОБЫ ПУСКА

Асинхронный двигатель нормального исполнения может создавать вращающий момент без принятия специальных мер при питании от сети однофазного тока. Предположим, что цепь одного из проводов работающего двигателя, присоединенного к трехфазной сети, разомкнулась (например, вследствие перегорания плавкой вставки предохранителя). Машина, оказавшаяся в однофазном режиме либо с последовательным, либо с последовательно-параллельным соединением обмоток статора (рис. 5), будет продолжать вращаться, преодо-

левая момент сопротивления нагрузки. В первом случае одна фаза полностью теряет питание, во втором происходит уменьшение напряжения на каждой из двух фаз, соединенных последовательно. Скорость вращения двигателя при этом снижается, а скольжение увеличивается.

Увеличение скольжения при неизменной нагрузке на валу сопровождается значительным возрастанием тока. Для предупреждения чрезмерного перегрева обмоток не-

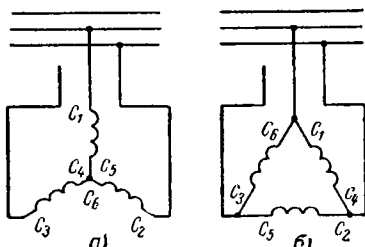


Рис. 5. Однофазное включение асинхронного двигателя.

обходимо снизить нагрузку двигателя до 50—60% номинальной. Остановив однофазный двигатель, легко убедиться в том, что пустить его в ход непосредственно включением в сеть невозможно. Вращающий момент при пуске оказывается равным нулю. Это обусловлено характером магнит-

ного поля статора, которое в однофазном двигателе является пульсирующим.

Пульсирующее поле может быть представлено в виде двух полей, вращающихся с одной и той же синхронной скоростью в противоположные стороны. Наибольшее значение (амплитуда) каждого из них равно половине амплитуды пульсирующего поля.

Разложение пульсирующего поля и его изменение во времени иллюстрируется простым графическим построением, приведенным на рис. 6.

При построении принято допущение, что катушка, по которой проходит ток (показанная в виде одного витка), создает в воздушном зазоре машины синусоидально распределенное магнитное поле (сплошная линия).

Каждое из вращающихся полей (пунктирные линии 1 и 2) наводит в обмотке ротора э. д. с., под влиянием которых возникают токи. Взаимодействие вращающихся полей с токами ротора приводит к образованию вращающихся моментов, направленных в противоположные стороны. неподвижный ротор по отношению к этим полям находится в одинаковых условиях, поэтому вращающие моменты полностью уравниваются друг друга, чем и объясняется то обстоятельство, что однофазный двигатель не может «взять с места».

Для двигателя с вращающимся ротором равенство моментов не сохраняется, поэтому при отключении одной из фаз двигатель продолжает вращаться.

Прямое поле, т. е. поле, направление вращения которого совпадает с направлением вращения ротора, наводит в его обмотке токи небольшой частоты (2—3 гц при частоте напряжения сети 50 гц). Обозначим момент, обусловленный прямым полем, через M_1 . Встречному (обратному) полю соответствует тормозной момент M_2 . Токи, индуктированные в обмотке ротора встречным полем, при малых значениях скольжения имеют повышенную частоту (около 100 гц) и, становясь поэтому почти чисто реактивными, оказывают размагничивающее действие. Ослабление встречного поля вызывает уменьшение тормозного момента M_2 .

При вращении ротора ось результирующего поля однофазного двигателя вращается в направлении прямого поля.

В соответствии с равенством (6), представленном в виде:

$$n_1 = \frac{60}{T_p}, \quad (6')$$

где T — период изменения переменного тока (сек).

За время одного периода при $p=1$ поле сделает один оборот, при $p=2$ — пол оборота и т. д. Однако мгновен-

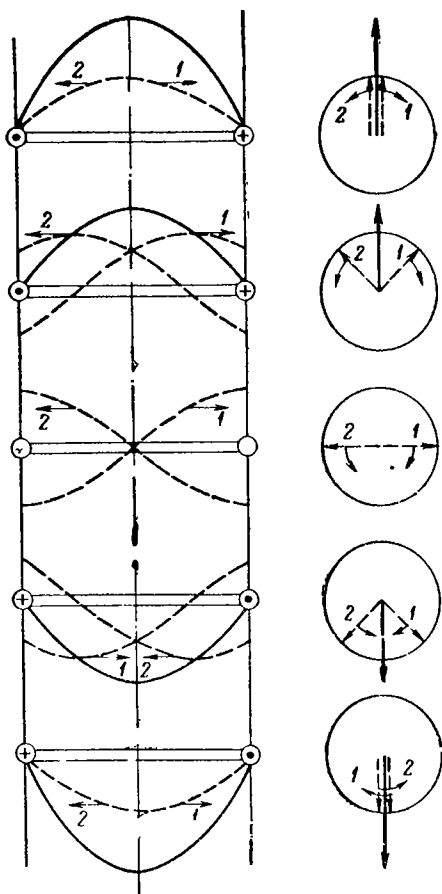


Рис. 6. Разложение пульсирующего магнитного поля на два вращающихся поля.

ные значения скорости вращения образующегося в зазоре машины эллиптического поля не остаются постоянными, что обусловлено его характером.

Результирующий момент однофазного двигателя равен разности моментов от прямого и обратного полей;

$$M = M_1 - M_2. \quad (10)$$

Наличие тормозного момента приводит к ухудшению характеристик двигателя. Однофазный двигатель по сравнению с исходным трехфазным имеет меньшие к. п. д. и коэффициент мощности.

Уменьшение к. п. д. связано с возрастанием потерь,

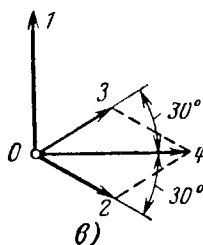
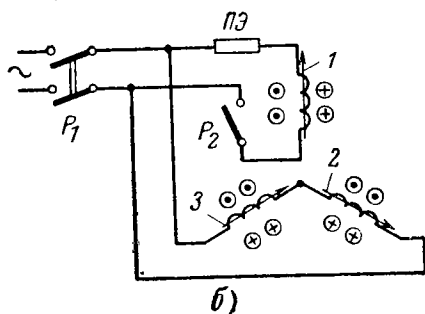
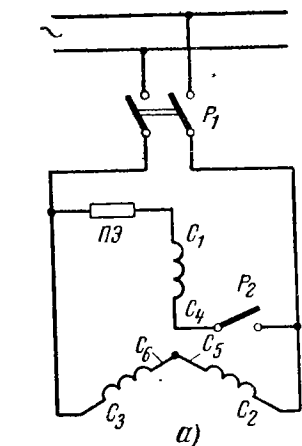


Рис. 7. Образование пространственного угла сдвига между осями главной и пусковой обмоток однофазного двигателя.

обусловленных появлением обратного поля. Снижение коэффициента мощности объясняется увеличением намагничивающего тока.

Существенным недостатком однофазного двигателя является отсутствие пускового момента. Двигатели малой мощности (например, асинхронный двигатель проигрывателя) можно пустить в ход «от руки», но этот способ пуска неприменим для более мощных приводов. Поэтому задача непосредственного пуска однофазного двигателя от сети имеет важное значение. Однако из возможных ее решений рассматривается в настоящей брошюре. Идея его состоит в образовании в воздушном зазоре машины вращающегося магнитного поля — эллиптического или кругового.

В эллиптическом поле, кроме вращающего момента M_1 , возникает тормозной момент M_2 . В круговом поле тормозной момент отсутствует.

Для получения кругового вращающегося поля должны быть соблюдены определенные условия. При двух статорных обмотках магнитное поле становится круговым, если их намагничивающие силы (н. с.), равные по величине, сдвинуты в пространстве и во времени на 90° . Заметим, что под н. с. понимают произведение тока обмотки на число ее витков (действующих). Ось н. с. всегда совпадает с осью обмотки.

Рассмотрим схему включения трехфазного двигателя в однофазную сеть (рис. 7,а). Одна обмотка статора образована фазой $C_1—C_4$, другая состоит из двух последовательно соединенных фаз: $C_2—C_5$, $C_3—C_6$. Назовем первую обмотку *пусковой*, а вторую *рабочей*, или *главной*. Стрелками 1, 2 и 3 (рис. 7,б) для некоторого момента времени условно показаны направления и величины пульсирующих н. с. отдельных фаз исходного трехфазного двигателя. Ось н. с. главной обмотки (стрелка 4) находят по правилу параллелограмма (рис. 7,в). Как видно, ось н. с. главной фазы оказывается сдвинутой относительно осей н. с. статорных обмоток $C_2—C_5$, $C_3—C_6$ на 30° . При этом между осями н. с. главной и пусковой обмоток создается пространственный сдвиг, равный 90° . При соединении обмоток двигателя треугольником получается тот же результат.

Для получения сдвига н. с., создаваемых токами обмоток, во времени применяют в цепи пусковой обмотки активное сопротивление, индуктивную катушку или конденсатор. В первом и втором случаях создается эллиптическое вращающееся поле, так как сдвиг во времени между токами обмоток получается значительно меньше

$\frac{1}{4}$ периода. К достоинству этих способов пуска относятся простота и относительно невысокая стоимость пусковых элементов.

Если в качестве фазосдвигающего элемента использовать конденсатор, то можно получить вращающееся магнитное поле, близкое к круговому, а в некоторых случаях и круговое.

Пуск двигателя в ход производится следующим образом. При замкнутом рубильнике P_2 (рис. 7,а) включается рубильник P_1 . По достижении скорости вращения, близкой к синхронной, цепь пусковой обмотки с пусковым элементом ПЭ размыкается вручную или автоматически посредством центробежного выключателя, обычно встроенного в корпус двигателя. Под напряжением сети на время работы остается только главная фаза.

Сравнение различных способов пуска показало, что пусковой ток для одного и того же значения момента получается наименьшим при пуске посредством включения конденсатора. С уменьшением пускового тока уменьшаются колебания напряжения в линии, что приводит к улучшению условий пуска вследствие известной пропорциональности между вращающим моментом асинхронного двигателя и квадратом приложенного напряжения.

Для одинаковых пусковых токов начальный вращающий момент двигателя с конденсатором в цепи пусковой обмотки значительно превосходит момент, получаемый при включении активного сопротивления или индуктивности.

3. КОНДЕНСАТОРНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ

Выше указывалось, что пусковые характеристики однофазного двигателя становятся наиболее благоприятными, когда в качестве пускового элемента используется конденсатор. Для улучшения *рабочих* характеристик конденсатор определенной емкости оставляют включенным на весь рабочий период.

Асинхронный двигатель, работающий от сети однофазного тока, с конденсатором в его цепи называется *конденсаторным*.

По теории и расчету конденсаторного двигателя опубликовано значительное число работ в отечественной и иностранной литературе.

Еще в 1934 г. один из видных советских ученых — академик В. С. Кулебакин, рассмотрев основные свойства конденсаторного двигателя, указал на широкие возможности его применения в народном хозяйстве и, в частности, выдвинул идею его использования в электрической тяге.

Данные теоретических и экспериментальных исследований двигателя с тремя статорными обмотками и специального исполнения нашли отражение в работах М. Крондля (1934 г.), В. Шуйского (1935 г.), И. М. Эдельмана (1936 г.), Г. Б. Меркина (1937 и 1966 гг.), Н. М. Булаева (1937 г.), В. Е. Розенфельда, М. И. Крайцберга, Б. Н. Тихменева (1949 г.), Х. Клауснитцера (1950 г.), О. А. Некрасова (1952 г.), А. Г. Мирера (1953 г.), Ю. С. Чечета (1949, 1950, 1955 гг.) и др.

Фундаментальные исследования вопросов теории и особенностей различных схем конденсаторного двигателя принадлежат А. И. Адаменко (1958, 1960, 1962, 1966 гг.).

Внимание исследователей продолжают занимать вопросы дальнейшего развития методики проектирования и расчета конденсаторных двигателей специального исполнения. Вместе с тем большой интерес вызывает изучение возможностей улучшения эксплуатационных свойств асинхронного двигателя трехфазного тока, работающего в схеме однофазного включения с конденсатором. Сказанное в значительной мере объясняется расширением областей применения конденсаторного двигателя. Каковы же его характерные особенности?

По сравнению со схемой однофазного включения, показанной на рис. 5, конденсаторный двигатель развивает большую полезную мощность. Ее величина достигает 65—85% номинальной мощности, указанной на щитке. Конденсаторный двигатель как асинхронный короткозамкнутый очень прост по устройству и надежен в работе. Его питание осуществляется от двухпроводной сети.

Ценным свойством конденсаторного двигателя является высокий коэффициент мощности, который практически может быть принят равным единице. Следовательно, двигатель потребляет из сети ток, пропорциональный только активной мощности, так как источником реактивной мощности для него является конденсатор.

Величины пусковой и рабочей емкости при данном напряжении сети и принятой схеме включения зависят от мощности двигателя. С увеличением мощности они

возрастают. Начиная с некоторой мощности, применение конденсаторных двигателей экономически уже не оправдывается из-за относительно высокой стоимости конденсаторов.

Предельной мощностью конденсаторного двигателя общего назначения следует признать номинальную мощность 1,7 кВт, обозначенную на щитке¹.

Поясним сказанное на примере двигателя серии А в защищенном исполнении с синхронной скоростью вращения 1500 об/мин. Стоимость конденсаторов типа КБГ-МН, образующих рабочую емкость, при мощности двигателя 1 кВт примерно равна стоимости двигателя, т. е. составляет примерно 100%. Для мощностей 1,7 и 10 кВт соответственно получаем 140 и 270% стоимости двигателей.

Таблица 2

Механизм	Электродвигатель		
	Тип	Мощность, квт	Скорость вращения об/мин
Машина для очистки кормов от металлических частиц	АОЛ 21-4	0,27	1 400
Вентилятор для помещений животноводческих ферм	АОЛ 31-4	0,6	1 410
Корнеклубнеймойка МП-2,2	АОЛ 31-4	0,6	1 410
Корнерезка РКР-2	АО 32-4	1	1 410
Ковшовый транспортер ТК-0	АО 41-4	1,7	1 420
Жмыхдробилка ДЖ-0,5	АОЛ 31-4	1	1 410
Вертикальный смеситель кормов . . .	А 41-6	1	930
Маслоизготовитель МИ-50 и сепаратор „Урал-6“	А 31-4	0,6	1 410
Сепаратор „Звезда-М“	А 31-4	0,6	1 410
Сепаратор „Волга“	А 31-4	0,6	1 410
Машина для стрижки овец	—	0,125	2 800

Мощность от нескольких сотен ватт до 1,7 кВт имеет огромное число асинхронных трехфазных двигателей, применяемых в народном хозяйстве. В связи с освоением

¹ Конденсаторные двигатели специального исполнения (например, электротяговые двигатели рудничных электровозов) могут иметь значительно ббльшую мощность. В настоящей брошюре такие двигатели не рассматриваются.

отечественными заводами технологий изготовления высококачественных конденсаторов становится реальной возможность широкого использования конденсаторных двигателей, особенно в условиях сельскохозяйственного производства, где мощность многих машин животноводческих ферм не превышает 1 кВт. Последнее иллюстрируется данными табл. 2.

Конденсаторный двигатель может также найти применение в промышленности и в быту для привода механизмов и машин небольшой мощности.

Отличительным элементом конденсаторного двигателя является *конденсатор*. Технические данные конденсаторов, пригодных для использования в цепи конденсаторного двигателя, приведены в § 4.

4. КОНДЕНСАТОРЫ

Конденсаторы применяются в самых различных областях электротехники. В технике сильных токов их используют преимущественно для улучшения коэффициента мощности. Они необходимы также для пуска и работы конденсаторных двигателей.

Электрические свойства конденсаторов в значительной мере зависят от рода *диэлектрика*, заключенного между обкладками. По этому признаку различают воздушные конденсаторы, бумажные, слюдяные, масляные, электролитические и т. д.

Каждый конденсатор рассчитан на вполне определенное *рабочее (номинальное) напряжение*. Рабочим называется напряжение, при котором конденсатор может работать длительно. Номинальное напряжение и *емкость* указываются в паспортных данных конденсатора.

Конденсатор типа КБГ-МН предназначен для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов в интервале температур от -60 до $+70^{\circ}\text{C}$ и выполняются постоянной емкости.

Тип конденсатора КБГ-МН обозначает конденсатор бумажный герметический в металлическом прямоугольном корпусе нормальный.

Пример. Конденсатор типа КБГ-МН 2В 1 000 в, 4 мкф $\pm 10\%$, т. е. конденсатор бумажный с двумя изолированными выводами (2В) на номинальное напряжение постоянного тока 1 000 в емкостью 4 мкф с допускаемым отклонением $\pm 10\%$.

Бумажные конденсаторы выдерживают в течение 4 ч удвоенное рабочее напряжение, в течение 10 сек — утроенное рабочее напряжение.

По величине допускаемого отклонения емкости от номинальной конденсаторы выпускаются трех классов точности:

Класс точности	Допускаемое отклонение от номинального, %
I	± 5
II	± 10
III	± 20

Основные технические данные конденсаторов приведены в табл. 3

Таблица 3

Рабочее напряжение постоянного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размеры корпуса (длина, ширина, высота), мм	Рабочее напряжение постоянного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размеры корпуса (длина, ширина, высота), мм
400	1	49×29×60	600	4	69×39×100
400	2	49×34×80	600	6	69×64×110
400	4	69×39×95	1 000	1	49×34×80
400	6	69×39×110	1 000	2	69×39×95
400	8	69×64×110	1 000	4	69×64×110
600	1	49×34×60	1 500	1	49×34×110
600	2	49×34×110	1 500	2	69×64×100

При работе конденсаторов в цепях переменного тока величина допустимого напряжения не должна превышать значений, указанных в табл. 4.

Таблица 4

Номинальное напряжение постоянного тока, в	Допустимое напряжение переменного тока для частоты, гц				Номинальное напряжение постоянного тока, в	Допустимое напряжение переменного тока для частоты, гц			
	50		500			50		500	
	Емкость конденсатора, мкф					Емкость конденсатора, мкф			
	До 2	4—10	о 2	4—10		До 2	4—10	До 2	4—10
400	250	200	125	75	1 000	400	350	200	150
600	300	250	150	100	1 500	500	—	250	—

Пример. Допустимое напряжение конденсаторов типов КБГ-НМ и БГТ (см. ниже) 6 мкф, 600 в, используемых в сети переменного тока 50 гц, составляет не 600, а 250 в.

Конденсаторы типа БГТ (бумажные герметические термостойкие) предназначены для работы в цепях постоянного, переменного и пульсирующего токов в интервале температур от -60 до $+100^{\circ}\text{C}$ и выполняются постоянной емкости.

Конденсаторы типа БГТ по отклонению емкости от номинальной изготавливаются трех классов точности, как и конденсаторы типа КБГ-МН.

В табл. 5 приведены основные технические данные конденсаторов.

Таблица 5

Рабочее напряжение постоянного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размеры корпуса (длина, ширина, высота), мм	Рабочее напряжение постоянного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размеры корпуса (длина, ширина, высота), мм
400	1	45×30×54	600	2	65×30×115
400	2	45×60×54	600	4	65×50×115
400	4	65×35×115	600	6	65×70×115
400	6	65×50×115	1 000	1	45×80×54
400	8	65×70×115	1 000	2	65×45×115
600	1	45×45×54	1 000	4	65×80×115

Конденсаторы типа МБГЧ предназначены для работы в цепях переменного или пульсирующего тока в интервале температур от -60 до 70°C и выполняются постоянной емкости в корпусах прямоугольной формы. Конденсаторы МБГЧ — металлобумажные (из металлизированной бумаги) герметизированные частотные. По отклонению емкости от номинальной они изготавливаются II и III классов точности.

Основные технические данные конденсаторов приведены в табл. 6.

Таблица 6

Рабочее напряжение переменного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размеры корпуса (длина, ширина, высота), мм	Рабочее напряжение переменного тока, в	Номинальная емкость, мкф	Размеры корпуса (длина, ширина, высота), мм
250	1	31×31×25	500	2	46×51×50
250	2	46×16×50	500	4	69×34×115
250	4	46×31×50	750	1	46×56×50
250	10	46×61×50	750	2	69×39×115
500	1	46×31×50			

Конденсаторы типа ЭП (электролитические пусковые) предназначены для работы в цепях переменного тока в интервале температур от -40 до $+60^{\circ}\text{C}$ и выполняются постоянной емкости на номинальные рабочие напряжения 175 и 300 в по III классу точности. Конденсаторы допускают до 30 включений в 1 ч продолжительностью включения до 3 сек.

Номинальные значения емкости при напряжении 175 в составляют 5, 10, 15, 20, 30, 50, 70 и 100 мкф, а при напряжении 300 в — 1,5, 3, 5, 8, 10, 15, 20 и 30 мкф.

5. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СХЕМЫ КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Принципиальные электрические схемы конденсаторного двигателя показаны на рис. 8.

Как и в случае трехфазного включения, обмотки статора могут быть соединены в звезду (рис. 8,а) или в треугольник (рис. 8,б). Напряжение сети подводится к началам двух фаз. К началу третьей фазы и одному из сетевых зажимов присоединяются рабочий конденсатор 1 и отключаемый конденсатор 2, который необходим для увеличения пускового момента.

Пусковая емкость

$$C_{\text{п}} = C_{\text{р}} + C_{\text{о}}, \quad (11)$$

где $C_{\text{р}}$ — рабочая емкость;

$C_{\text{о}}$ — отключаемая емкость.

После пуска двигателя конденсатор 2 отключается и в схеме остается только рабочий конденсатор 1.

Изменение направления вращения (реверсирование) производится переключением сетевого провода с одного зажима конденсатора на другой.

Как показывает анализ, в схемах включения рис. 8,а и б, устанавливается следующий порядок следования токов статорных обмоток двигателя: $I_{\text{А}}-I_{\text{В}}-I_{\text{С}}$. Этому порядку соответствует определенное направление вращения поля. Если переключить сетевой провод с правого зажима конденсатора на левый, то токи статорных обмоток будут следовать в обратном порядке ($I_{\text{А}}-I_{\text{С}}-I_{\text{В}}$). Направление вращения поля изменяется при этом на противоположное. Порядок следования токов фаз не трудно определить графическим путем — с помощью

векторных диаграмм, которые будут рассмотрены ниже.

В других вариантах схем включения (рис. 8, в и г) из трех фаз исходного трехфазного двигателя образованы

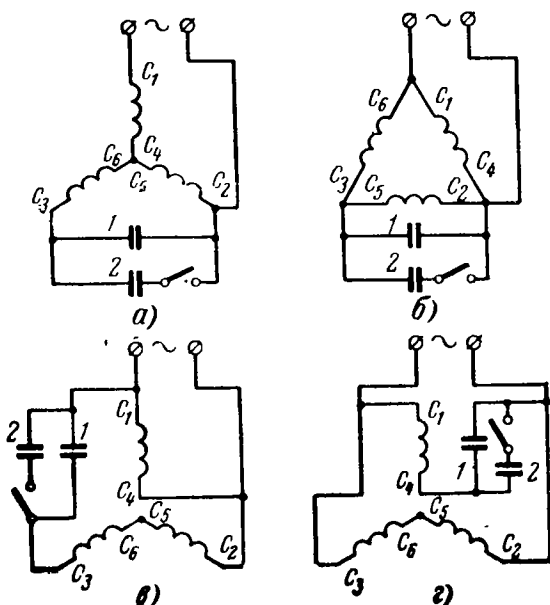


Рис. 8. Принципиальные электрические схемы конденсаторного двигателя с тремя статорными обмотками.

1 — рабочий конденсатор; 2 — отключаемый конденсатор.

две обмотки. Одну из них составляют две фазы, соединенные последовательно. Обмотку, в цепи которой находится конденсатор, условимся называть *конденсаторной фазой*, другую обмотку, включаемую на напряжение сети — *главной фазой*.

Соединение зажимов на щитке применительно к схеме включения, приведенной на рис. 8, г, для одного направления вращения показано на рис. 9, а и для другого на рис. 9, б. Реверсирование двигателя достигается изменением порядка следования токов главной и конденсаторной фаз. В данном случае с этой целью производится переключение конденсаторной фазы (рис. 9).

В схеме включения конденсаторного двигателя используется следующая аппаратура управления и защи-

ты: двухполюсный и однополюсный рубильники, центробежное реле и предохранители.

Через двухполюсный рубильник к двигателю подводится питание от сети. Для включения и отключения

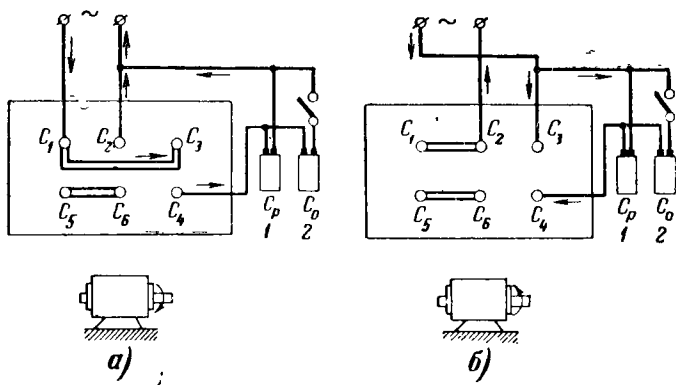


Рис. 9. Соединение зажимов на щитке конденсаторного двигателя для схемы включения, показанной на рис. 8,а.

пускового конденсатора применяется однополюсный рубильник или центробежное реле. Предохранитель защищает двигатель от коротких замыканий.

В схеме конденсаторного двигателя, так же как и при трехфазном включении, можно использовать магнитный пускатель. В этом случае легко осуществляются дистанционное управление, защита от самозапуска (при сильном снижении напряжения в сети двигатель отключается и самопроизвольно включиться не может), а также защита от перегрузки с помощью тепловых реле магнитного пускателя.

6. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ И ПУСКОВОЙ ЕМКОСТИ

Номинальным напряжением и током конденсаторного двигателя с тремя статорными обмотками условимся называть *фазные* значения этих величин, указанные в паспорте машины. Например, на щитке асинхронного двигателя трехфазного тока типа АОЛ32-4 обозначено: 1 кВт, 127/220 в, 7,3/4,2 а, 1 410 об/мин, к. п. д. 78,5%, $\cos \varphi = 0,79$. В зависимости от напряжения сети обмотки

статора при трехфазном включении соединяются либо в треугольник (при напряжении 127 в), либо в звезду (при напряжении 220 в). Соответственно ток двигателя при полезной мощности, равной 1 кВт, составляет 7,3 а (соединение треугольником) или 4,2 а (соединение звездой). Однако независимо от схемы соединения фазными значениями напряжения и тока в приведенном примере остаются 127 в и 4,2 а. Их мы и будем считать номинальными при использовании двигателя в качестве конденсаторного.

Емкость и реактивное сопротивление конденсатора находятся в обратной зависимости. Чем меньше емкость, тем больше сопротивление. Изменение емкости сопровождается изменением тока. Из этого следует, что ток конденсаторной фазы (рис. 8, в и г) может оказаться меньше или больше номинального. В первом случае мощность двигателя недоиспользуется, во втором — возникает опасность недопустимого перегрева обмоток и повышения напряжений на отдельных участках схемы (на конденсаторной фазе, на конденсаторе). Особенно неблагоприятным оказывается явление резонанса напряжений, при котором ток конденсаторной фазы во много раз превышает номинальную величину, а возникающие перенапряжения представляют опасность для персонала и, кроме того, могут вызвать пробой изоляции обмотки или конденсатора.

В практике эксплуатации конденсаторного двигателя правильный выбор рабочей емкости имеет поэтому весьма большое значение.

Рабочая (постоянно включенная) емкость выбрана правильно, если фазные токи и напряжения при нагрузке становятся практически номинальными. Развиваемая полезная мощность при этом является номинальной мощностью двигателя. Удовлетворяющая отмеченным условиям рабочая емкость будет обозначаться $C_{р.н.}$. Определение рабочей емкости для любой произвольной нагрузки рассматривается в § 13.

Следует заметить, что полная симметрия напряжений и токов конденсаторного двигателя не достигается, особенно для схем 8, а и б. Тем не менее любой схеме включения соответствует одна вполне определенная величина емкости, при которой токи в обмотках нагруженного двигателя несущественно отличаются от номинальных.

Рабочая емкость пропорциональна мощности двигателя (номинальному току) и обратно пропорциональна напряжению. Применительно к рассмотренным схемам включения конденсаторного двигателя для частоты 50 гц приближенная величина емкости может быть подсчитана по следующим соотношениям: для схемы, показанной на рис. 8,а,

$$C_{p.н} \approx 2800 \frac{I_n}{U}; \quad (12)$$

для схемы, показанной на рис. 8,б,

$$C_{p.н} \approx 4800 \frac{I_n}{U}; \quad (13)$$

для схемы, показанной на рис. 8,в,

$$C_{p.н} \approx 1600 \frac{I_n}{U}; \quad (14)$$

для схемы, показанной на рис. 8,г,

$$C_{p.н} \approx 2740 \frac{I_n}{U}, \quad (15)$$

где I_n — номинальный ток, а; U — напряжение сети, в.

Таким образом, исходными данными, по которым определяется рабочая емкость $C_{p.н}$, являются номинальный ток двигателя и напряжение сети.

Пример. Определить рабочую емкость для двигателя типа ТС-1А 0,25 кВт, 127/220 в, 2/1,15 а, если двигатель включен по схеме, приведенной на рис. 8,а, а напряжение сети 220 в. Как видно, номинальный ток конденсаторного двигателя равен 1,15 а. На основании (12) находим:

$$C_{p.н} \approx 2800 \frac{I_n}{U} = 2800 \frac{1,15}{220} \approx 14,6 \text{ мкф.}$$

Принимаем $C_{p.н} = 15 \text{ мкф.}$

При определении величины пусковой емкости исходят прежде всего из требований создания необходимого пускового момента.

Если по конкретным условиям работы электропривода пуск двигателя происходит без нагрузки, то отключаемой емкости не требуется и тогда рабочая емкость в соответствии с (11) будет в то же время пусковой. В этом случае схема включения упрощается.

Пуск под нагрузкой совершается при наличии в цепи двигателя и рабочей, и отключаемой емкостей. Увеличение величины отключаемой емкости приводит к возраста-

нию пускового момента, и при некотором определенном ее значении момент достигает своего наибольшего значения. Дальнейшее увеличение емкости приводит к обратному результату: пусковой момент начинает уменьшаться.

Величина наибольшего пускового момента зависит не только от емкости, но и от схемы включения двигателя. При соединении обмоток звездой (рис. 8,а) или треугольником (рис. 8,б) пусковой момент не превосходит номинального момента при трехфазном включении. Для других схем (рис. 8,в и г) наибольший пусковой момент может в несколько раз превышать значение номинального момента, но его реализация сопряжена с появлением значительных перенапряжений в цепи конденсаторной фазы. Однако на практике не возникает необходимости в создании такого большого момента при пуске.

Исходя из условия получения пускового момента, близкого к номинальному, необходимо иметь пусковую емкость, примерное значение которой равно:

$$C_{\text{п}} \approx (2,5 \div 3) \cdot C_{\text{р.н.}} \quad (16)$$

Отключаемые конденсаторы работают непродолжительное время (всего несколько секунд за весь период включения или доли секунды). Это позволяет использовать при пуске наиболее дешевые электролитические конденсаторы типа ЭП, специально предназначенные для этой цели.

7. НАПРЯЖЕНИЕ НА КОНДЕНСАТОРЕ

В предыдущем параграфе было рассмотрено определение величин рабочей и пусковой емкостей для различных схем включения конденсаторного двигателя. Не менее важным является выбор конденсаторов по напряжению. Действительно, установка конденсаторов с «запасом» по напряжению, т. е. с превышением номинального напряжения переменного тока над тем, под которым они находятся в схеме, приводит к недоиспользованию их реактивной мощности. Кроме того, стоимость конденсаторов с повышением напряжения увеличивается. С другой стороны, эксплуатация конденсаторов под напряжением, превышающим номинальное, приводит к преждевременному выходу их из строя.

Мы будем сравнивать напряжение на конденсаторе при номинальной нагрузке с напряжением сети.

Для первых двух схем включения конденсаторного двигателя (рис. 8, а и б) без существенной погрешности может быть принято равенство

$$U_{к.н} \approx U, \quad (17)$$

где $U_{к.н}$ — напряжение на конденсаторе при номинальной нагрузке (действующее значение);

U — напряжение сети.

Связь между напряжениями при включении двигателя по схеме, приведенной на рис. 8,з, выражается зависимостью

$$U_{к.н} \approx 1,15U. \quad (18)$$

Из последнего выражения видно, что в данном случае напряжение конденсатора на 15% выше напряжения сети.

Превышение напряжения конденсатора над напряжением сети для схемы, приведенной на рис. 8, в, оказывается еще большим:

$$U_{к.н} \approx 2U. \quad (19)$$

Напряжение на конденсаторе, как будет показано ниже, при постоянной величине рабочей емкости не остается неизменным. Увеличиваясь с уменьшением нагрузки, оно достигает наибольшей величины при холостом ходе, составляя (1,2—1,25) $U_{к.п.}$

При работе двигателя с недогрузкой рекомендуется пользоваться соответственно следующими соотношениями:

$$U_{к.р} \approx 1,15U; \quad (20)$$

$$U_{к.р} \approx 1,3U; \quad (21)$$

$$U_{к.р} \approx 2,2U, \quad (22)$$

где $U_{к.р}$ — расчетное напряжение конденсатора.

Конденсатор выбран правильно, если его номинальное напряжение переменного тока равно расчетному или несколько больше его.

Пример. Двигатель АОЛ 32-4, 127/220 в, 1 квт включен по схеме, приведенной на рис. 8,з. Напряжение сети 220 в, рабочая емкость 52 мкф состоит из конденсаторов типа КБГ-МН по 2 мкф в каждом.

Требуется определить величину рабочего напряжения конденсаторов.

Расчетное напряжение $U_{к.р}$ вычисляем по (21):

$$U_{к.р} \approx 1,3U = 1,3 \cdot 220 = 286 \text{ в.}$$

По табл. 4 для конденсаторов до 2 мкф при частоте 50 гц находим, что допустимому напряжению переменного тока 300 в (бли-

жайшее большее к 286 в) соответствует номинальное напряжение постоянного тока 600 в. Итак, выбираем конденсаторы с рабочим напряжением 600 в.

Рабочую емкость комплектуем из 26 конденсаторов по 2 мкф каждый.

8. ВЫБОР СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ

Выбор схемы включения конденсаторного двигателя производится с учетом величины напряжения сети и данных двигателя по напряжению.

Схема выбрана правильно, если любая из обмоток исходного трехфазного двигателя при номинальной нагрузке оказывается под напряжением, равным номинальному или близким к нему. При этом имеется в виду, что величина установленной рабочей емкости определена по соотношению, соответствующему схеме.

Кроме согласования данных по напряжению, оцениваются особенности возможных схем. Заметим, что в отдельных конкретных случаях выбор вариантов схем может быть ограничен. В качестве примера возьмем двигатель электрорубанка типа И24-А 0,62 кВт, 220 в, 1,88 а, обмотки которого соединены в звезду, причем нулевая точка недоступна. Очевидно, что как конденсаторный он может иметь только одну схему включения, изображенную на рис. 8,а. Источником питания для двигателя служит сеть однофазного тока напряжением 220 в.

Электрорубанок с конденсаторным двигателем показан на рис. 10.

Рассмотрим теперь особенности конденсаторного двигателя, включенного по схеме, приведенной на рис. 8,а. Назовем обмотку C_1-C_4 главной фазой, че-

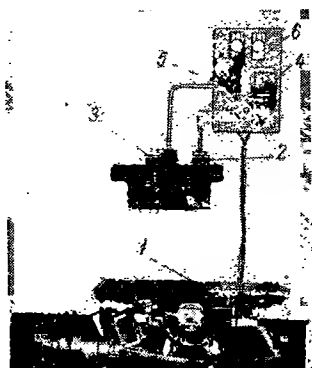


Рис. 10. Электрорубанок с конденсаторным двигателем.

1 — двигатель типа И 24-А; 2 — рабочий конденсатор емкостью 24 мкф; 3 — отключаемый конденсатор емкостью 50 мкф; 4 — кнопочный выключатель; 5 — однополюсный рубильник в цепи отключаемого конденсатора; 6 — плавкие предохранители.

рез которую проходит весь ток. Обмотку $C_3—C_6$, соединенную последовательно с конденсатором, назовем конденсаторной фазой и третью обмотку $C_2—C_5$ — вспомогательной фазой.

Изменение токов этих фаз с изменением скольжения оказывается совершенно различным. Если ток главной фазы с уменьшением нагрузки (скольжения) уменьшается, то ток конденсаторной фазы, наоборот, возрастает, достигая наибольшего значения при холостом ходе.

Вспомогательная фаза при холостом ходе и незначительной нагрузке находится в генераторном режиме — ее активная мощность отрицательна. С возрастанием нагрузки вспомогательная фаза переходит в двигательный режим. При этом ее ток, уменьшаясь, достигает некоторого минимального значения и затем начинает увеличиваться.

Активная мощность по фазам распределяется неравномерно. При номинальной нагрузке главная фаза развивает примерно такую же мощность, как конденсаторная и вспомогательная, вместе взятые. Равенства токов всех фаз номинальному не достигается. Поэтому под номинальной здесь понимается такая нагрузка, при которой токи двух фаз равны номинальному, а ток третьей фазы составляет 70—85% его величины. Это определение относится и к случаю соединения обмоток статора треугольником.

Характерными особенностями схемы являются относительно небольшие величины пускового момента и напряжения на конденсаторе.

В другой схеме включения (рис. 8, б) обмотки двигателя соединены в треугольник. По аналогии с предыдущей схемой здесь также можно различить главную, конденсаторную и вспомогательную фазы. Вспомогательной назовем фазу $C_1—C_4$, к которой подведено напряжение сети. Обмотка $C_3—C_6$ с параллельно присоединенным конденсатором представляет собой конденсаторную фазу и третья обмотка $C_2—C_5$ — главную фазу.

Характер изменения токов в фазах с изменением нагрузки остается таким же, как и при соединении статорных обмоток в звезду.

Пример. В § 6 для двигателя ТС-1А, соединенного в звезду, при напряжении сети 220 в получена рабочая емкость $C_{р.н} \approx 14,6$ мкф. Напряжение на конденсаторе в соответствии с (17) $U_{к.н} \approx U = 220$ в.

При напряжении сети 127 в обмотки двигателя соединяются в треугольник по схеме, приведенной на рис. 8,б. Для нее в соответствии с (13)

$$C_{p.н} \approx 4800 \frac{I_n}{U} = 4800 \frac{1,15}{127} = 43,5 \text{ мкф.}$$

Сравнивая емкости 43,5 и 14,6 мкф, видим, что для схемы, приведенной на рис. 8,б, рабочая емкость увеличивается в 3 раза.

Напряжение на конденсаторе определяется по (17):

$$U_{к.н} \approx U = 127 \text{ в.}$$

Активная мощность между обмотками распределяется неравномерно. Наибольшую мощность при номинальной нагрузке развивают главная и вспомогательная фазы.

Относительно небольшая величина пускового момента, как было отмечено выше, составляет одно из характерных свойств этой схемы. Особенности ее по сравнению с предыдущей состоят в том, что для одного и того же двигателя напряжение на конденсаторе уменьшается в $\sqrt{3}$ раз, а емкость рабочего конденсатора увеличивается в 3 раза.

Проведенное сравнение показывает, что первая схема (рис. 8,а) является предпочтительнее, так как ее технические и экономические показатели лучше (меньше емкость и размеры батареи конденсаторов, ниже стоимость ее установки). Однако ее применение не всегда оказывается возможным. Если напряжение сети равно номинальному напряжению фазы, обмотки двигателя соединяются в треугольник (рис. 8, б) или как показано на рис. 8, в.

Три фазы двигателя в схемах, представленных на рис. 8, в и г, образуют две обмотки. Одну из них условились называть главной фазой, другую — конденсаторной.

Ток главной фазы возрастает с нагрузкой, конденсаторной — уменьшается. Двигатель работает с нормальной (номинальной) нагрузкой, когда по обеим обмоткам проходит номинальный ток. При этом вращающееся магнитное поле становится практически круговым, вследствие чего использование мощности двигателя улучшается.

Активные мощности главной и конденсаторной фаз, соответствующие номинальной нагрузке, примерно одинаковы. С уменьшением нагрузки происходит некоторое возрастание мощности конденсаторной фазы. Мощ-

ность главной фазы довольно резко уменьшается и на холостом ходу приобретает отрицательное значение: главная фаза становится асинхронным генератором с конденсаторным возбуждением, работающим параллельно с сетью. С появлением нагрузки на валу главная фаза переходит в двигательный режим.

Достоинствами схем, приведенных на рис. 8, в и г, по сравнению с рассмотренными выше, являются возможность получения значительного пускового момента и лучшее использование мощности двигателя.

Сравним эти схемы.

Пусть питающая сеть однофазного тока, как это часто встречается на практике, имеет напряжение 220 в. Очевидно, что если двигатель выполнен на напряжения 220/380 в, он включается по схеме, приведенной на рис. 8, в или г, если номинальные напряжения двигателя 127/220 в.

Напряжение на конденсаторе при номинальной нагрузке составит: для схемы, приведенной на рис. 8, в $U_{к.н} \approx 2U = 2 \cdot 220 = 440$ в, для схемы на рис. 8, г $U_{к.н} \approx 1,15 U = 1,15 \cdot 220 = 253$ в.

Между напряжениями на конденсаторе в том и другом случае имеется существенная разница. Повышение напряжения связано с некоторым увеличением стоимости конденсаторов и уменьшением безопасности обслуживания. Кроме того, вследствие возрастания индуктивного сопротивления конденсаторной фазы при включении двигателя по схеме, приведенной на рис. 8, в, возникает опасность перенапряжений, особенно при пуске двигателя.

Схема, приведенная на рис. 8, г, выгодно отличаясь от предыдущей, заслуживает предпочтения. Она является наиболее рациональной схемой включения конденсаторного двигателя. Ниже этот вывод будет обоснован с помощью векторных диаграмм.

Заметим, что двигатель на напряжение 127/220 в также может быть включен по схеме, приведенной на рис. 8, в, но на напряжение сети 127 в. Если же номинальные напряжения двигателя равны 220/380 в, а напряжение питающей сети равно 220 в, то здесь вместо схемы включения конденсаторного двигателя с двумя обмотками (рис. 8, в) следует выбрать схему с соединением фаз в треугольник (рис. 8, б), несмотря на увеличение емкости конденсатора.

Пример. Имеются конденсаторы типов МБГЧ и ЭП. Двигатель 1 квт, 220/380 в, с номинальным током фазы 2,4 а включается на напряжение сети 220 в. Требуется определить величину рабочей и пусковой емкостей, а также расчетное напряжение на конденсаторах и напряжение при номинальной нагрузке.

Схема, приведенная на рис. 8,б. Рабочая емкость по (13)

$$C_{р.н} \approx 4800 \frac{I_n}{U} = 4800 \frac{2,4}{220} = 52,5 \text{ мкф.}$$

Номинальное напряжение на конденсаторе по (17)

$$U_{н.к} \approx U = 220 \text{ в.}$$

Расчетное напряжение конденсатора по (20)

$$U_{к.р} \approx 1,15U = 1,15 \cdot 220 \approx 250 \text{ в.}$$

По табл. 6 выбираем 13 конденсаторов МБГЧ емкостью по 4 мкф с рабочим напряжением 250 в.

Отключаемую емкость принимаем по (16) равной

$$C_o \approx 2C_{р.н} = 105 \text{ мкф}$$

и выбираем для нее 5 конденсаторов типа ЭП по 20 мкф на 300 в.

Схема, приведенная на рис. 8,в. Рабочая емкость по (14)

$$C_{р.н} \approx 1600 \frac{I_n}{U} = 1600 \frac{2,4}{220} \approx 18 \text{ мкф.}$$

Номинальное напряжение на конденсаторе по (19)

$$U_{к.н} \approx 2U = 2 \cdot 220 = 440 \text{ в.}$$

Оно может быть найдено также умножением номинального тока на реактивное сопротивление конденсатора x_C :

$$U_{к.н} = I_n x_C = I_n \frac{10^6}{\omega C},$$

где $\omega = 2\pi f$ — угловая частота переменного тока;

C — емкость, мкф;

f — частота напряжения сети, гц.

Произведя вычисления для частоты $f = 50$ гц, получим:

$$U_{к.н} = 2,4 \frac{10^6}{314 \cdot 18} = 425 \text{ в.}$$

Расхождение с данными, полученными по (19), составляет примерно 4%, что для технических расчетов вполне допустимо.

Расчетное напряжение на конденсаторе по (22)

$$U_{к.р} \approx 2,2U = 2,2 \cdot 220 = 484 \text{ в.}$$

По табл. 6 выбираем 9 конденсаторов МБГЧ по 2 мкф на рабочее напряжение 500 в.

Для отключаемой емкости конденсаторы типа ЭП не подходят по напряжению. Поэтому отключаемую емкость составляем из конденсаторов типа МБГЧ, приняв ее величину равной

$$C_o \approx 1,5C_{р.н} = 1,5 \cdot 18 = 27 \text{ мкф.}$$

По табл. 6 выбираем 7 конденсаторов по 4 мкф на рабочее напряжение 500 в.

Приведенный пример подтверждает целесообразность включения конденсаторного двигателя при отмеченных условиях по схеме, приведенной на рис. 8, б.

Пример. Выбрать схему включения конденсаторного двигателя 0,6 квт, 127/220 в с номинальным током фазы 2,5 а, если напряжение сети 127 в. Определить величину рабочей емкости и выбрать конденсаторы типа КБГ-МН.

Сопоставление приведенных данных по напряжению показывает, что включение двигателя возможно по схемам, приведенным на рис. 8,б или 8, в. Произведем вычисления для обеих схем.

Схема, приведенная на рис. 8,б. Рабочая емкость по (13)

$$C_{p.н} \approx 4800 \frac{I_n}{U} = 4800 \frac{2,5}{127} = 94 \text{ мкф.}$$

Расчетное напряжение на конденсаторе по (20)

$$U_{к.р} \approx 1,15U = 1,15 \cdot 127 = 146 \text{ в.}$$

По табл. 4 для частоты 50 гц выбираем конденсаторы емкостью от 4 до 10 мкф с допустимым напряжением переменного тока 220 в, что соответствует номинальному напряжению постоянного тока 400 в, обозначенному на конденсаторах.

По табл. 3 для рабочего напряжения постоянного тока 400 в выбираем 16 конденсаторов по 6 мкф.

Схема, приведенная на рис. 8,в. Рабочая емкость по (14)

$$C_{p.н} \approx 1600 \frac{I_n}{U} = 1600 \frac{2,5}{127} = 32 \text{ мкф.}$$

Расчетное напряжение на конденсаторе по (22)

$$U_{к.р} \approx 2,2U = 2,2 \cdot 127 = 280 \text{ в.}$$

По табл. 4 для частоты 50 гц выбираем конденсаторы емкостью 2 мкф с допустимым напряжением переменного тока 300 в, что соответствует номинальному напряжению постоянного тока 600 в.

По табл. 3 для рабочего напряжения постоянного тока 600 в выбираем 16 конденсаторов по 2 мкф.

При относительно невысоком напряжении на конденсаторах схема, приведенная на рис. 8,в в данном конкретном случае отличается меньшими емкостью и стоимостью конденсаторов.

9. ГРАФИЧЕСКОЕ ИЗОБРАЖЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНЫХ ВЕЛИЧИН

Величины, изменяющиеся во времени по синусоидальному закону, изображают графически с помощью волновых и векторных диаграмм. Ограничимся рассмотрением векторных диаграмм.

Вектором в общем случае называют направленный отрезок. Так как ток характеризуется величиной и направлением, то он может быть представлен в виде вектора.

Чтобы отразить физическую картину синусоидальных изменений, мы должны принять, что вектор тока вращается (например, в направлении против часовой стрелки) с равномерной угловой скоростью

$$\omega = \frac{2\pi}{T}, \quad (23)$$

где T — период, т. е. время поворота вектора на угол, равный 2π рад.

Углы поворота вектора (ψ) условимся отсчитывать от положительного направления оси OX , а направление тока в фазе определять по знаку проекции вектора на

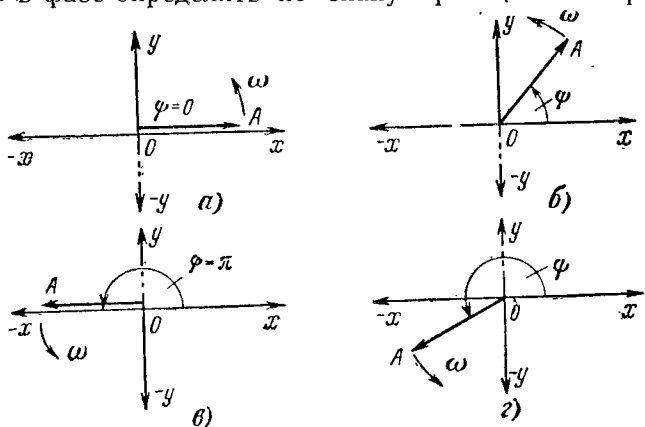


Рис. 11. Векторные диаграммы вращающегося вектора тока в различные моменты времени.

вертикальную ось. За положительное направление тока примем направление его от начала к концу фазы.

Предположим, что ток фазы $I=3$ а. При произвольно выбранном масштабе $m_I=0,1$ а/мм длина вектора тока $\vec{I}$ составит 30 мм (рис. 11). В начальный момент времени ($\psi=0$, рис. 11, а) и в момент, наступающий через половину периода ($\psi=\pi$, рис. 11, в), проекции вектора тока на вертикальную ось равны нулю. Это указывает на то, что в отмеченные моменты времени ток фазы, изменяясь, проходит через нулевое значение.

Во все другие моменты времени проекции вектора $\vec{OA}$ на вертикальную ось не равны нулю. Заметим, что по ним можно судить о мгновенных значениях тока.

Положению вектора $\vec{OA}$ на рис. 11, б соответствует направление тока от начала фазы к концу, а положению,

изображенному на рис. 11,2 — направление от конца к началу.

Направление переменного тока изменяется по полупериодам. К этому же выводу мы приходим из рассмотрения векторных диаграмм.

К моменту времени $t=T$ соответствующему повороту вектора $\vec{OA}$ на угол $\psi=2\pi$ заканчивается полный цикл изменений тока. Во втором и последующих периодах эти изменения повторяются.

Аналогичным образом синусоидально изменяющееся напряжение можно изобразить графически в виде вектора $\vec{U}$, вращающегося против направления вращения часовой стрелки с угловой скоростью ω .

Диаграммы тока и напряжения удобно совместить, т. е. показать в одной системе координат. Совместные векторные диаграммы тока и напряжения фазы используются для получения расчетных соотношений. Обычно они строятся для одного какого-либо момента времени, выбранного произвольно. При этом система координат на график не наносится.

Вращающиеся векторы тока и напряжения остаются неподвижными относительно друг друга, так как скорости вращения их равны, а направления вращения совпадают. Между ними, в общем случае, возникает сдвиг, во времени соответствующий фазовому углу φ . Угол сдвига векторов тока и напряжения фазы зависит от характера нагрузки.

В цепи переменного тока различают активное сопротивление r , индуктивное сопротивление x_L и емкостное сопротивление x_C . Независимо от числа и комбинации этих сопротивлений в конкретной цепи они всегда могут быть заменены одним эквивалентным, или полным сопротивлением Z .

Из курса электротехники известно, что ток совпадает по фазе с активным падением напряжения ($\varphi=0$), отстает от индуктивного падения напряжения на угол $\varphi=\pi/2$ и опережает падение напряжения на конденсаторе на угол $\varphi=\pi/2$.

Совместные диаграммы тока и напряжений показаны на рис. 12. При их рассмотрении необходимо помнить, что за направление вращения векторов принято направление против часовой стрелки.

Пользуясь отмеченными правилами, нетрудно выполнить построение векторной диаграммы токов и напряже-

ний для приемника, содержащего качественно различные сопротивления.

Представим фазу двигателя переменного тока в виде электрической цепи, состоящей из активного и индуктив-

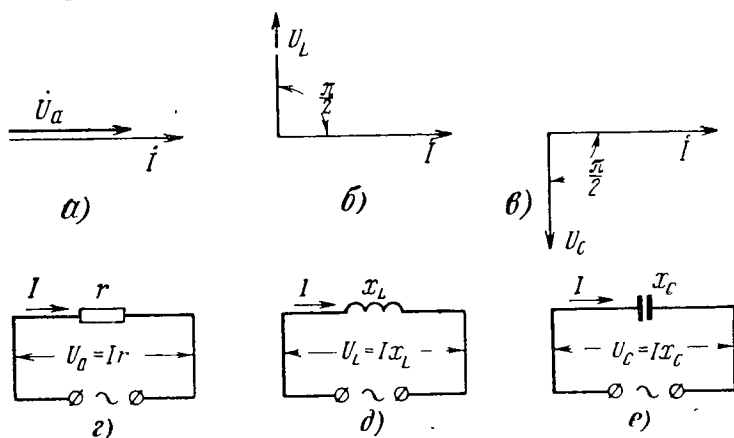


Рис. 12. Совместные векторные диаграммы тока и напряжений (а—в), соответствующие схемам включения в цепь переменного тока активного (г), индуктивного (д) и емкостного (е) сопротивлений.

ного сопротивлений, соединенных последовательно (рис. 13,а).

Активное сопротивление отражает процессы преобразования электрической энергии в двигателе, о которых говорилось выше. Наличие индуктивного сопротивления

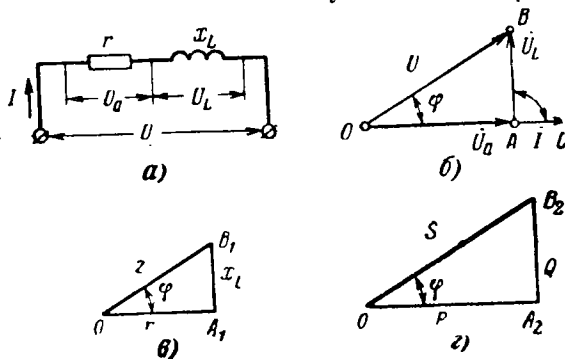


Рис. 13. Включение статорной обмотки двигателя на переменное напряжение.

а — принципиальная схема; б — векторная диаграмма тока и напряжений; в — треугольник сопротивлений; г — треугольник мощностей.

указывает на то, что кроме активной двигатель получает из сети реактивную мощность, необходимую для образования магнитного поля.

Векторная диаграмма тока и напряжений фазы двигателя показана на рис. 13,б. Методика ее построения следующая. Сначала откладываем в произвольном масштабе вектор тока. В данном случае направление вектора тока совпадает с положительным направлением оси OX . Затем, пользуясь масштабом напряжений, выбранным также произвольно, чертим вектор активного падения напряжения, совпадающего по фазе с током $\overline{OA}$. Далее из точки A проводим вектор индуктивного падения напряжения $\overline{AB}$, опережающего ток по фазе на угол $\pi/2$. Сложив геометрически векторы $\overline{OA}$ и $\overline{AB}$, получаем величину и направление вектора напряжения сети ($\overline{OB}$), приложенного к фазе двигателя. Как видно, ток отстает от напряжения сети по фазе на угол $\varphi < \pi/2$, что характерно для активно-индуктивного характера нагрузки.

Треугольник OAB называется треугольником напряжений. Из него по известной теореме Пифагора находим¹:

$$U = \sqrt{U_a^2 + U_L^2}, \quad U_a = \sqrt{U^2 - U_L^2}, \quad U_L = \sqrt{U^2 - U_a^2}$$

или

$$U_a = U \cos \varphi, \quad U_L = U \sin \varphi.$$

Поделив стороны треугольника напряжений на ток I , получим подобный ему треугольник сопротивлений (рис. 13,в) со сторонами

$$r = \frac{U_a}{I}, \quad x_L = \frac{U_L}{I}, \quad Z = \frac{U}{I}.$$

Из треугольника сопротивлений устанавливаем, что полное сопротивление цепи связано со своими составляющими соотношениями

$$Z = \sqrt{r^2 + x_L^2}, \quad r = \sqrt{Z^2 - x_L^2}, \quad x_L = \sqrt{Z^2 - r^2}, \\ r = Z \cos \varphi, \quad x_L = Z \sin \varphi.$$

¹ Здесь и в дальнейшем мы будем пользоваться действующими значениями тока и напряжения, т. е. такими, которые регистрируются приборами, включенными в цепь переменного тока.

Умножив стороны треугольника напряжений на ток I , переходим к подобному треугольнику мощностей (рис. 13,з), так как

$$UI = S, U_a I = P, U_L I = Q.$$

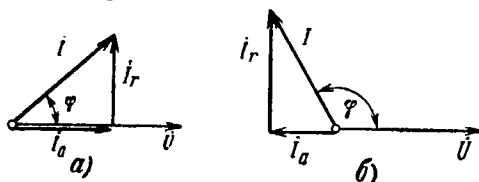
Уравнения связи между полной мощностью и ее составляющими устанавливаются аналогично:

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, P = \sqrt{S^2 - Q^2}, Q = \sqrt{S^2 - P^2},$$

$$P = S \cos \varphi, Q = S \sin \varphi.$$

Исходными при построении векторных диаграмм являются векторы тока и напряжения. Если их положение

Рис. 14. Разложение вектора тока на активную и реактивную составляющие при $\varphi < \pi/2$ (а) и $\varphi > \pi/2$ (б).



задано, то, как видно из рис. 13,б, нетрудно получить составляющие напряжения, приложенного к цепи. Для этого достаточно вектор $\vec{U}$ спроектировать на взаимно перпендикулярные направления, одно из которых совпадает с направлением вектора тока.

Аналогичным образом вектор тока можно представить в виде геометрической суммы активной I_a и реактивной I_r составляющих. Первая из них совпадает по фазе с вектором напряжения, вторая перпендикулярна ему.

На диаграмме рис. 14,а ток опережает напряжение по фазе на угол $\varphi < \pi/2$, что указывает на активно-емкостный характер нагрузки.

Из диаграммы следует:

$$I_a = I \cos \varphi, I_r = I \sin \varphi, I = \sqrt{I_a^2 + I_r^2}.$$

Составляющие тока характеризуют активную и реактивную мощности цепи. Действительно, приведенные выше формулы для мощностей можно представить в виде

$$P = UI \cos \varphi = UI_a, Q = UI \sin \varphi = UI_r$$

и если $U = \text{const}$, то $P \equiv I_a$, $Q \equiv I_r$.

Условимся считать, что активная мощность положительна, если фазовый угол $\varphi = 0$, или $|\varphi| < \pi/2$ (рис. 12,а,

13 и 14,а). При $\varphi = \pi/2$ она равна нулю (рис. 12,б, в) и при $|\varphi| > \pi/2$ (рис. 14,б) становится отрицательной. Знак активной мощности указывает на направление ее передачи. О направлении активной мощности можно судить по фазе активной составляющей тока.

Из сопоставления диаграмм (рис. 14) следует, что если активная составляющая тока совпадает по фазе с напряжением, то активная мощность поступает из сети, т. е. расходуется в цепи приемника ($P > 0$). Если активная составляющая тока находится в противофазе с приложенным напряжением — активная мощность отдается в сеть ($P < 0$).

10. ГРАФИКИ ЗАВИСИМОСТЕЙ ТОКОВ И НАПРЯЖЕНИЙ КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ НАГРУЗКИ

Токи фаз асинхронного двигателя при симметричном трехфазном включении возрастают по мере увеличения нагрузки, а фазные напряжения остаются постоянными (предполагается, что питающая сеть обладает достаточно большой мощностью). При этом имеют место равенства:

$$\begin{aligned} I_A &= I_B = I_C; \\ U_A &= U_B = U_C = \text{const}; \\ \cos \varphi_A &= \cos \varphi_B = \cos \varphi_C, \end{aligned}$$

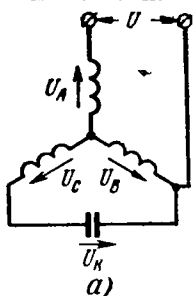
где I_A, I_B, I_C — токи первой, второй и третьей фаз;
 U_A, U_B, U_C — фазные значения напряжений.

Фазные напряжения сдвинуты относительно друг друга во времени на $1/3$ периода. Соответственно, на $1/3$ сдвинуты относительно друг друга токи фаз.

Угол сдвига φ между током и напряжением фазы зависит от нагрузки. С увеличением последней он уменьшается, а коэффициент мощности ($\cos \varphi$) возрастает.

При включении двигателя в сеть однофазного тока в качестве конденсаторного симметрия токов и напряжений статорных обмоток нарушается. Мощность двигателя при этом недоиспользуется, а зависимости токов и напряжений от нагрузки приобретают различный характер.

Условимся считать, что при включении конденсаторного двигателя по любой из рассмотренных схем напряжение сети U и рабочая емкость C_p остаются постоянными, причем $C_p = C_{p.n.}$. Токи, напряжения и скольжение выразим в относительных единицах, т. е. в долях номинальных величин.



Зависимости токов от скольжения конденсаторного двигателя, статорные обмотки которого соединены звездой (рис. 15, а), иллюстрируются кривыми, приведенными на рис. 15, б. Ток фазы А с увеличением нагрузки возрастает, фазы С уменьшается, а фазы В изменяется

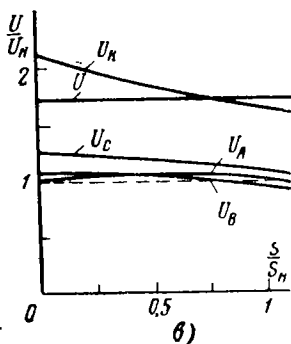
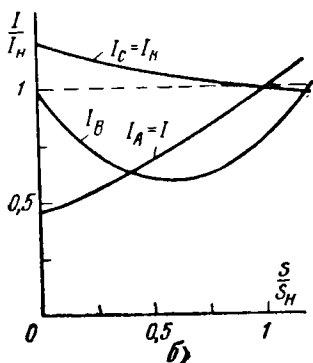


Рис. 15. Соединение статорных обмоток звездой конденсаторного двигателя.

а — принципиальная схема; б — графики зависимости токов; в — графики зависимости напряжений от скольжения при $C_p = C_{p.n.}$

неоднозначно, т. е. сначала уменьшается, затем, достигнув минимального значения, начинает возрастать. Заметим, что и для других схем включения конденсаторного двигателя с тремя статорными обмотками характерна следующая особенность: фаза, ток которой с изменением нагрузки изменяется неоднозначно, при холостом ходе переходит в генераторный режим.

Напряжение на конденсаторе, уменьшающееся с нагрузкой, соизмеримо с величиной напряжения сети (рис. 15, в). Фазные напряжения неодинаковы.

При соединении обмоток двигателя в треугольник (рис. 16,а) зависимости токов от скольжения аналогичны кривым, приведенным на рис. 15,б. Неоднозначное изменение тока относится в данном случае к фазе А.

Ток конденсатора I_K существенно превышает номинальный ток фазы, так как для схемы рис. 16,а характерна значительная емкость $C_{p.н}$ (13).

Фазные напряжения U_B и U_C в режиме номинальной нагрузки практически равны напряжению первой фазы U_A (рис. 16,в).

Графики токов двигателя с конденсатором, включенным в цепь двух статорных обмоток (рис. 17,а); нанесены на рис. 17,б.



Рис. 16. Соединение статорных обмоток треугольником конденсаторного двигателя.

а — принципиальная схема; б — графики зависимости токов; в — графики зависимости напряжений от скольжения при $C_p = C_{p.н}$.

Ток конденсаторной фазы с увеличением скольжения уменьшается, главной фазы изменяется неоднозначно.

Напряжение на конденсаторе (рис. 17,в) значительно превышает напряжение сети, с чем необходимо считаться на практике. Напряжения статорных обмоток в режиме номинальной нагрузки несущественно отличаются по величине.

При включении двигателя по схеме, приведенной на рис. 18,а, зависимости токов от скольжения (рис. 18,б) аналогичны графикам, показанным на рис. 17,б.

Напряжение на конденсаторе несколько выше напряжения сети (рис. 18,в). Статорные обмотки находятся под напряжением, близким к номинальному.

Ток конденсаторной фазы независимо от схемы включения двигателя имеет один и тот же характер — он уменьшается с увеличением нагрузки. Поясним сказанное.

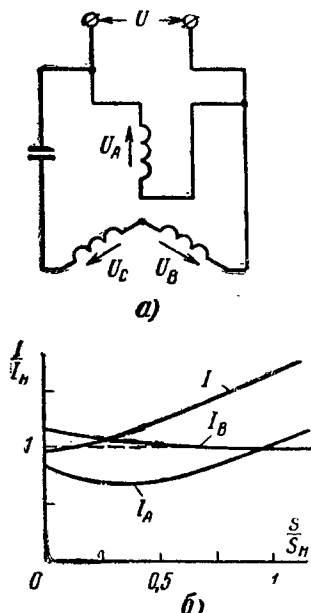
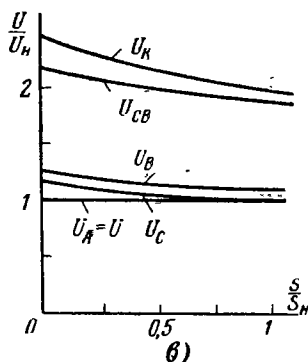


Рис. 17. Соединение двух статорных обмоток последовательно с конденсатором конденсаторного двигателя.

а — принципиальная схема; б — графики зависимости токов; в — графики зависимости напряжений от скольжения при $C_p = C_{p,n}$.



Конденсаторная фаза (например, фаза А рис. 18,а) может быть представлена в виде электрической цепи состоящей из последовательно соединенных активного r , индуктивного x_L и емкостного x_C сопротивлений. Реактивные сопротивления фазы связаны неравенством

$$x_C > x_L,$$

отвечающим необходимому сдвигу во времени (приблизительно на четверть периода) токов главной и конденсаторной фаз.

Если, пользуясь правилами, изложенными выше (стр. 32—38), построить с учетом приведенного неравенства прямоугольный треугольник напряжений для цепи конденсаторной фазы и затем разделить его стороны на I_A , то получим подобный ему треугольник сопротивле-

ний с катетами r , $x_C - x_L$ и гипотенузой Z , пропорциональной полному сопротивлению цепи, причем

$$Z = \sqrt{r^2 + (x_C - x_L)^2}.$$

Составляющие полного сопротивления фазы Z — активное сопротивление и сопротивление конденсатора — остаются

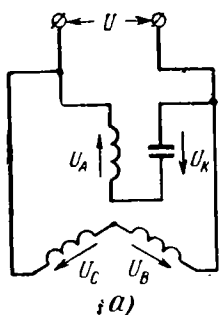
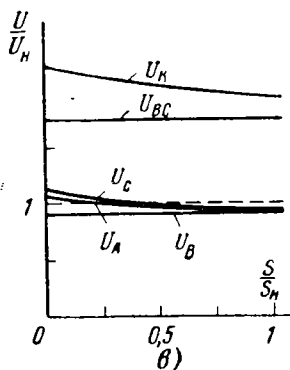
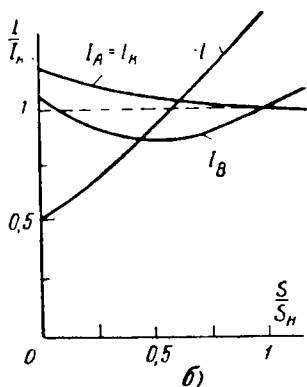


Рис. 18. Соединение статорной обмотки конденсаторного двигателя с конденсатором.

a — принципиальная схема; *б* — графики зависимости токов; *в* — графики зависимости напряжений от скольжения при $C_p = C_{p.n.}$



практически постоянными: $r_b \approx \text{const}$, $x_C^f = \frac{1}{\omega C_{\Pi}} = \text{const}$

($C_p = \text{const}$). Изменяется в зависимости от режима работы только индуктивное сопротивление фазы $x_L = \omega L$. С увеличением нагрузки оно несколько уменьшается вследствие насыщения магнитной цепи машины. Полное сопротивление цепи конденсаторной фазы при $x_C > x_L$ возрастает, а ток при условии $U = \text{const}$ уменьшается.

11. ВЕКТОРНЫЕ ДИАГРАММЫ КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Векторные диаграммы являются наглядным и вместе с тем достаточно точным средством исследования режимов работы машин переменного тока. Они могут быть построены для первичной (статорной) и вторичной (роторной) цепей. Применительно к конденсаторному двигателю ограничимся рассмотрением векторных диаграмм токов и напряжений статорных цепей. Исходными данными для их построения являются токи, напряжения и активные мощности обмоток, а также ток и напряжение сети. Все эти величины могут быть получены экспериментально.

Методика построения векторных диаграмм состоит в следующем:

для рассматриваемой схемы включения двигателя составляется система уравнений токов и напряжений;

один из векторов, входящих в систему уравнений, принимается за исходный и в определенном, удобном для построения масштабе, изображается на чертеже;

после исходного вектора вычерчиваются остальные.

Масштабы токов и напряжений выбираются независимо относительно друг друга.

Для данного режима работы относительная ориентация векторов на диаграмме остается неизменной. Однако положение каждого из них определяется (задается) положением исходного вектора. Условимся в качестве последнего принимать вектор напряжения сети, полагая, что в рассматриваемый момент времени его направление совпадает с положительным направлением оси абсцисс.

Как графические построения векторные диаграммы иллюстрируют связи между напряжениями или токами, вытекающие из законов Кирхгофа.

Для соединения статорных обмоток двигателя в звезду (рис. 15,а) получим:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A + \dot{U}_{B1} &= \dot{U}; \\ \dot{U}_B - \dot{U}_C &= \dot{U}_k; \\ I_A &= I_B + I_C, \end{aligned} \right\} \quad (24)$$

причем

$$I_A = I, \quad I_C = I_k,$$

где I — ток двигателя;
 I_k — ток конденсатора.

Отложив вектор напряжения сети в положительном направлении оси абсцисс, определяем в соответствии с уравнением (24, первое) положение векторов фазных напряжений $\dot{U}_A$ и $\dot{U}_B$ с помощью циркуля методом засечек. Дуги окружностей с радиусом, пропорциональным величинам фазных напряжений U_A и U_B , проведенные из начала и конца вектора напряжения сети $\dot{U}$, пересекаются в двух точках. Тем не менее истинное решение является единственным. Правильность его подтверждается последующим построением.

Примем, что векторы напряжений уравнения (24, первое) имеют последовательность $\dot{U}_A - \dot{U} - \dot{U}_B$ (при вращении векторов против часовой стрелки), показанную на рис. 19.

Напряжение фазы B согласно (24, второе) определяется геометрической суммой напряжений фазы C и конденсатора. Прделав аналогичный прием, находим положение векторов $\dot{U}_C$ и $\dot{U}_k$. После этого нетрудно построить векторную диаграмму токов. Предварительно расчетом определяются коэффициенты мощности по формулам

$$\left. \begin{aligned} \cos \varphi_A &= \frac{P_A}{U_A I_A}; \\ \cos \varphi_B &= \frac{P_B}{U_B I_B}; \\ \cos \varphi_C &= \frac{P_C}{U_C I_C}; \\ \cos \varphi &= \frac{P_1}{UI} \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

и фазовые углы сдвига φ_A , φ_B , φ_C и φ .

Так как сопротивления обмоток двигателя имеют активно-индуктивный характер, то токи обмоток будут отставать от приложенных к ним напряжений на соответствующие фазовые углы сдвига.

Построив таким образом векторы токов, следует убедиться в том, что выполняется условие, выражаемое уравнением (24, третье), причем ток фазы C , равный

току конденсатора, опережает напряжение конденсатора на угол, равный $\pi/2$ эл. град.

Векторные диаграммы статорных цепей двигателя при холостом ходе и номинальной нагрузке, построенные по (24) и (25), показаны на рис. 19, а и б.

В режиме холостого хода (рис. 19, а) активные мощности первой и третьей фаз положительны ($P_A > 0$, $P_C >$

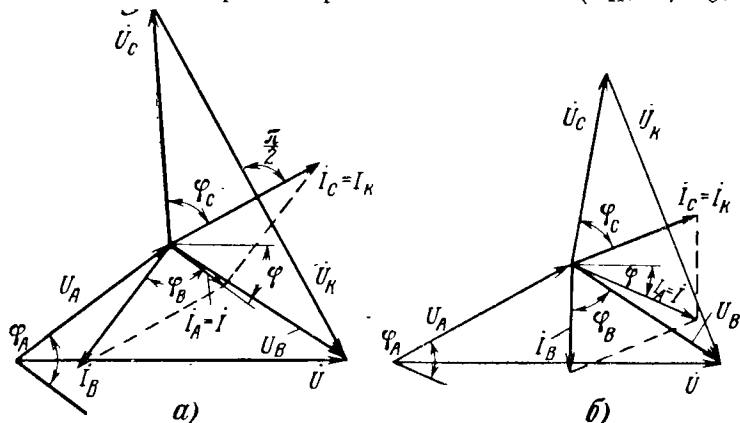


Рис. 19. Векторные диаграммы конденсаторного двигателя, включенного по схеме, показанной на рис. 15, а.

а — при холостом ходе; б — при номинальной нагрузке.

> 0). Действительно, фазовые углы сдвига $\varphi_A < \pi/2$, $\varphi_C < \pi/2$: — активные составляющие токов обмоток ($I_A \cos \varphi_A$, $I_C \cos \varphi_C$) совпадают по фазе с напряжениями U_A и U_C . Следовательно, мощности P_A и P_C потребляются, поступая из сети (см. стр. 37—38).

Активная мощность второй фазы отрицательна ($P_B < 0$) — активная составляющая тока $I_B \cos \varphi_B$ сдвинута относительно напряжения U_B на 180° , т. е. находится с ним в противофазе. Это означает, что фаза *В* генерирует активную мощность, т. е. возвращает ее в сеть. Выше было показано, что ток фазы *В* с нагрузкой изменяется неоднозначно. Так же неоднозначно изменяется и мощность этой фазы P_B .

Появление нагрузки приводит не только к изменению величины тока I_B (рис. 15, б), но и его фазы. Вектор тока I_B смещается в направлении против часовой стрелки. При $\varphi_B = \pi/2$ мощность $P_B = U_B I_B \cos \varphi_B$ проходит через нулевое значение и затем, изменив свой знак, начинает возрастать.

В режиме номинальной нагрузки (рис. 19,б) несимметрия токов и напряжений уменьшается, коэффициент мощности двигателя возрастает, приближаясь к единице (из диаграммы $\cos \varphi \approx 0,92$), активные мощности всех статорных обмоток положительны, т. е. в соответствии с изложенным выше (стр. 7—9) преобразуются в полезную мощность на валу и в мощность, компенсирующую потери внутри машины.

По векторным диаграммам можно проследить не только за изменением токов и напряжений при переходе двигателя из режима холостого хода к номинальной нагрузке, но и за изменением активных и реактивных мощностей фаз.

Сопоставляя диаграммы (рис. 17), можно прийти к выводам, справедливым и для других схем конденсаторного двигателя с тремя статорными обмотками (рис. 14—16):

1) статорная обмотка исходного трехфазного двигателя, ток которой с изменением нагрузки от нуля до номинальной изменяется неоднозначно, имеет неоднозначный характер изменения активной мощности и при холостом ходе находится в генераторном режиме;

2) токи фаз I_A, I_B, I_C отстают от фазных напряжений U_A, U_B, U_C соответственно на углы $\varphi_A, \varphi_B, \varphi_C$. Это означает, что конденсаторный двигатель, так же как и двигатель, работающий от сети трехфазного тока, всегда находится в режиме потребления реактивной мощности. Источником последней являются конденсаторы и сеть.

Уравнения напряжений и токов двигателя при соединении статорных обмоток в треугольник (рис. 16,а) принимают вид:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_A &= \dot{U}_B + \dot{U}_C; \\ \dot{I}_A + \dot{I}_C &= \dot{I}; \\ \dot{I}_B + \dot{I}_K &= \dot{I}_C, \end{aligned} \right\} \quad (26)$$

причем $\dot{U}_A = \dot{U}$.

Векторные диаграммы двигателя показаны на рис. 20,а и б.

Ток конденсатора I_K опережает напряжение U_B по фазе на угол $\varphi_K = \pi/2$.

Активные мощности второй и третьей фаз при холостом ходе (рис. 20,а) положительны ($P_B > 0, P_C > 0$).

Мощность первой фазы отрицательна ($P_A < 0$), т. е. имеет неоднозначный характер изменения с изменением нагрузки.

При номинальном режиме (рис. 20, б) мощности всех фаз положительны. Коэффициент мощности практически

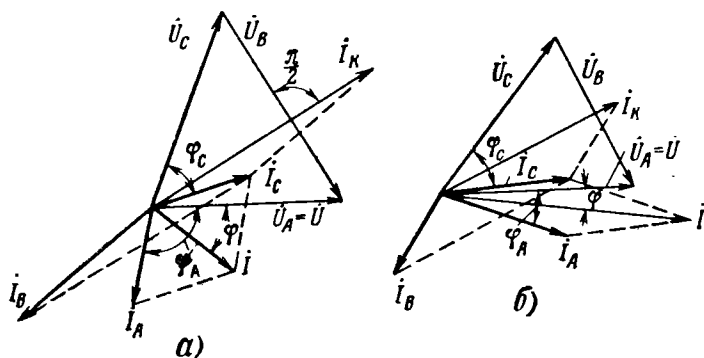


Рис. 20. Векторные диаграммы конденсаторного двигателя, включенного по схеме, показанной на рис. 16, а.

а — при холостом ходе; б — при номинальной нагрузке.

равен единице (из диаграммы $\cos \varphi \approx 0,98$).

Уравнения напряжений и токов двигателя, включенного по схеме, приведенной на рис. 17, а представим в виде

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_C - \dot{U}_B &= \dot{U}_{CB}; \\ \dot{U}_{CB} + \dot{U}_K &= \dot{U}_A; \\ \dot{I}_A + \dot{I}_C &= \dot{I}; \\ \dot{I}_B &= -\dot{I}_C, \end{aligned} \right\} \quad (27)$$

причем

$$\dot{U}_A = \dot{U}, \quad \dot{I}_C = \dot{I}_K.$$

Соответствующие им векторные диаграммы показаны на рис. 21, а и б.

Ток I_C опережает напряжение конденсатора U_K по фазе на угол $\varphi_K = \pi/2$.

Из диаграммы для холостого хода (рис. 21, а) находим: $P_A < 0$ ($\varphi_A > \pi/2$), $P_B > 0$ ($\varphi_B < \pi/2$), $P_C \approx 0$ ($\varphi_C \approx \pi/2$), т. е.

первая фаза исходного трехфазного двигателя находится в генераторном режиме, а вторая — в двигательном. Активная мощность третьей фазы близка к нулю.

При номинальной нагрузке (рис. 21, б) токи фаз равны номинальному току, коэффициент мощности двигателя

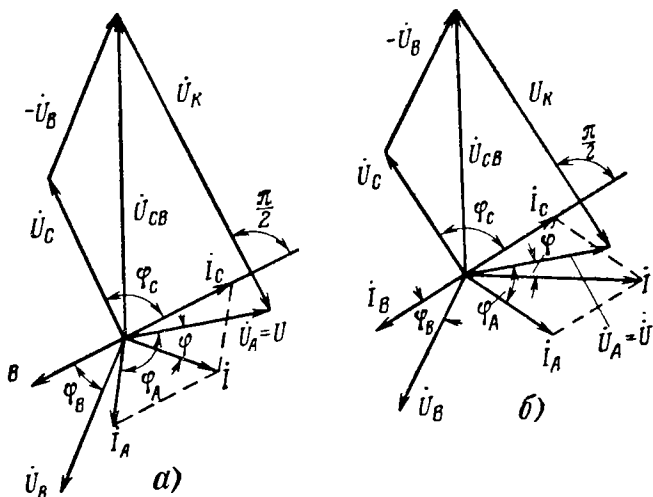


Рис. 21. Векторные диаграммы конденсаторного двигателя, включенного по схеме, показанной на рис. 17, а.

а — при холостом ходе; б — при номинальной нагрузке.

для близок к единице (из диаграммы $\cos \varphi \approx 0,96$). Активные мощности обмоток $P_A > 0$, $P_B > 0$, $P_C \approx 0$. В двигательном режиме находятся только две статорные обмотки.

Из сопоставления диаграмм (рис. 21) следует, что одна из статорных обмоток двигателя, включенного по схеме, приведенной на рис. 17, а, с возрастанием нагрузки от нуля до номинальной активную мощность не развивает. Поэтому использование мощности двигателя ухудшается. Заметим, что если путем пересключения фазы А (рис. 17, а) изменить направление вращения двигателя, то изменится порядок следования фаз и статорные обмотки В и С поменяются ролями.

Уравнения напряжений и токов двигателя, включенного по схеме, приведенной на рис. 18, а, могут быть за-

писаны в виде

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_B - \dot{U}_C &= \dot{U}_{BC}; \\ \dot{U}_A + \dot{U}_K &= \dot{U}; \\ \dot{I}_A + \dot{I}_B &= \dot{I}; \\ \dot{I}_B &= -\dot{I}_C, \end{aligned} \right\} \quad (28)$$

причем

$$\dot{U}_{EC} = \dot{U}, \quad \dot{I}_A = \dot{I}_K.$$

Соответствующие им векторные диаграммы представлены на рис. 22, а и б.

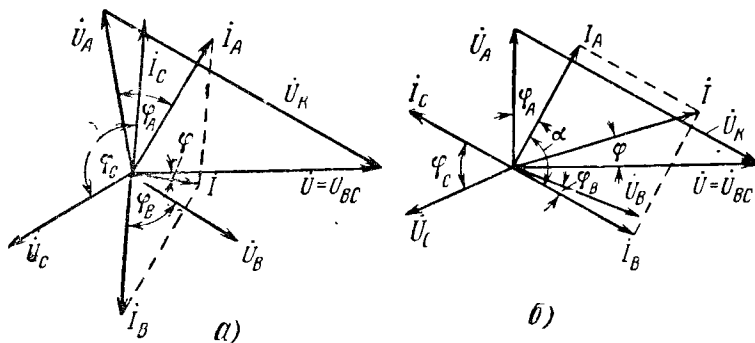


Рис. 22. Векторные диаграммы конденсаторного двигателя, включенного по схеме, показанной на рис. 18, а.
а — при холостом ходе; б — при номинальной нагрузке.

Ток I_A опережает напряжение конденсатора U_K по фазе на угол $\varphi_K = \pi/2$.

При холостом ходе (рис. 22, а) первые две фазы исходного трехфазного двигателя потребляют активную мощность, а третья ее генерирует:

$$P_A > 0 (\varphi_A < \pi/2), \quad P_B > 0 (\varphi_B < \pi/2), \quad P_C < 0 (\varphi_C > \pi/2).$$

В режиме номинальной нагрузки (рис. 22, б) токи фаз равны номинальному току. Мощности всех статорных обмоток положительны, коэффициент мощности двигателя близок к единице (из диаграммы $\cos \varphi \approx 0,96$).

Токи главной и конденсаторной фаз сдвинуты на угол $\alpha \approx \pi/2$, вследствие чего вращающееся магнитное поле машины становится практически круговым. Из рассмот-

рения диаграммы непосредственно следует, что для двигателя, включенного по схеме, приведенной на рис. 18,а, характерно улучшенное использование его мощности. Как было отмечено, схема является наиболее рациональной.

12. РАСЧЕТНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАБОЧЕЙ ЕМКОСТИ

Рассмотрим расчетное определение рабочей емкости применительно к схеме включения конденсаторного двигателя, показанной на рис. 18,а, полагая, что в воздушном зазоре машины создается круговое вращающееся магнитное поле. При этом н. с. главной и конденсаторной фаз, сдвинутые относительно друг друга в пространстве на 90° и во времени на $1/4$ периода, равны по величине (см. рис. 7,в)

$$I_{г.ф} \omega_{г.ф} = I_{к.ф} \omega_{к.ф},$$

где $\omega_{г.ф}$ — число витков главной фазы;

$\omega_{к.ф}$ — число витков конденсаторной фазы, равное числу витков статорной обмотки исходного трехфазного двигателя. Из схемы, приведенной на рис. 18,а, следует очевидное равенство $\omega_{к.ф} = \omega_A$.

Установим соотношение между числами витков фаз. Обратимся к рис. 7,в, из которого видно, что намагничивающее действие тока $I_{г.ф}$, проходящего по двум статорным обмоткам исходного трехфазного двигателя, соединенным последовательно, эквивалентно намагничивающему действию одной статорной обмотки (главной фазы) с числом витков $\omega_{г.ф}$, по которой проходит тот же ток, причем ось главной фазы сдвинута в пространстве относительно оси конденсаторной фазы на 90° .

Если принять, что ток главной фазы $I_{г.ф}$ (отн. ед.) = 1, то отрезки 02 , 03 и 04 будут пропорциональны числам витков соответствующих обмоток.

Следовательно,

$$\omega_{г.ф} = \omega_B \cos 30^\circ + \omega_C \cos 30^\circ = \sqrt{3} \omega_{к.ф},$$

где $\omega_B = \omega_C = \omega_A = \omega_{к.ф}$.

Из условия равенства н. с., приведенного выше, находим зависимость между токами обмоток:

$$I_{г.ф} = \frac{1}{\sqrt{3}} I_{к.ф}.$$

Примем, что напряжения и токи двигателя образуют симметричные двухфазные системы. Тогда треугольник напряжений статорных цепей, в отличие от треугольников напряжений, изображенных на рис. 22, становится прямоугольным с углом $(\widehat{U_{\kappa}, U}) = 30^\circ$. Из него получаем:

$$U_{\kappa} = \frac{U_{\text{г.ф.}}}{\cos 30^\circ} = \frac{2}{\sqrt{3}} U_{\text{г.ф.}} = \frac{2}{\sqrt{3}} U;$$

$$U_{\kappa.\text{ф.}} = U_{\kappa} \sin 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}} U_{\text{г.ф.}} = \frac{1}{\sqrt{3}} U.$$

Полные мощности главной и конденсаторной фаз равны

$$U_{\text{г.ф.}} I_{\text{г.ф.}} = U_{\kappa.\text{ф.}} I_{\kappa.\text{ф.}},$$

в чем легко убедиться по приведенным выше уравнениям связи между токами и напряжениями фаз.

Из последнего выражения вытекает, что полная мощность, потребляемая двигателем из сети, может быть представлена в виде соотношения

$$S = 2U_{\text{г.ф.}} I_{\text{г.ф.}} = 2U I_{\text{г.ф.}}$$

Реактивная мощность конденсатора при круговом вращающемся поле равна полной мощности двигателя:

$$Q_{\kappa} = U_{\kappa} I_{\kappa.\text{ф.}} = \frac{2}{\sqrt{3}} U \sqrt{3} I_{\text{г.ф.}} = 2U I_{\text{г.ф.}}$$

С другой стороны,

$$Q_{\kappa} = I_{\kappa.\text{ф.}}^2 x_c = \frac{I_{\kappa.\text{ф.}}^2}{\omega C}.$$

Приравнивая правые части последних выражений и учитывая зависимость между токами главной и конденсаторной фаз, находим емкость конденсатора при круговом вращающемся поле в фарадах:

$$C = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_{\kappa.\text{ф.}}}{\omega U},$$

или в микрофарадах

$$C = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_{\kappa.\text{ф.}}}{\omega U} 10^6. \quad (29)$$

Из полученных соотношений следует, что при номинальном токе главной фазы $I_{\text{г.ф.}} = I_n$ по условию образования кругового вращающегося поля в цепь конденсаторной фазы следует ввести емкость, соответствующую току $I_{\kappa.\text{ф.}} = \sqrt{3} I_n$. Проводники обмоток статора имеют одинаковую площадь поперечного сечения, поэтому нельзя до-

пустить, чтобы при номинальном токе главной фазы ток конденсаторной фазы составлял 1,73 номинальной величины.

Однако нет необходимости добиваться идеальной симметрии токов и напряжений, тем более, что она соответствует только одной определенной нагрузке. Вполне достаточно иметь условия, возможно более близкие к симметричному режиму, когда обратное поле не оказывает заметного влияния на работу двигателя (см. диаграмму на рис. 22,б).

Номинальной нагрузкой конденсаторного двигателя следует признать такую нагрузку, при которой токи в обмотках практически равны номинальному току фазы, обозначенному на щитке.

Таким образом, рабочая емкость конденсатора может быть определена по последнему выражению, в котором значение тока конденсаторной фазы принимается равным номинальному:

$$C_{p.n} = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{I_n 10^6}{\omega U}. \quad (30)$$

Применительно к частоте 50 гц эта формула после подстановки $\omega = 314$ 1/сек и сокращений приводится к (15). Рабочая емкость $C_{p.n}$ в соответствии с (30) при условиях

$$U = \text{const}, \quad \omega = \text{const}$$

пропорциональна номинальному току фазы.

Для номинального тока, выраженного через полную мощность двигателя и фазное значение напряжения, имеем:

$$I_n = \frac{S_n}{3U_n}. \quad (31)$$

Выражение (31) с учетом (8) получает вид:

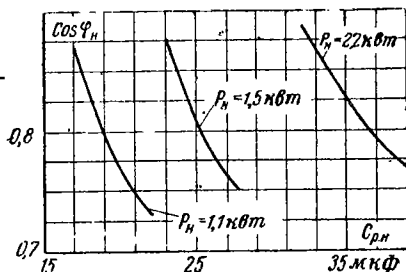
$$I_n = \frac{P_{1n}}{3U_n \cos \varphi_n}. \quad (32)$$

Активная мощность P_{1n} , потребляемая двигателем при номинальной нагрузке, может быть вычислена по (7).

Соотношение (32) характеризует влияние коэффициента мощности на величину тока. Для одних и тех же значений полезной мощности и к. п. д. ток двигателя тем меньше, чем выше коэффициент мощности. Объясняется это ограничением удельной намагничивающей мощности (рис. 3 и 4), обуславливающим в соответствии с (4) и

(31) уменьшение полной мощности и тока. Отсюда становится очевидной зависимость емкости, необходимой для образования в воздушном зазоре машины кругового или практически кругового поля, от коэффициента мощности

Рис. 23. Зависимости рабочей емкости от коэффициента мощности асинхронного двигателя $C_{р.н} = f(\cos \varphi_n)$ при $P_n = \text{const.}$



исходного трехфазного двигателя. Чем выше коэффициент мощности, тем меньше реактивная мощность и ток двигателя, а также величина рабочей емкости $C_{р.н}$.

Пример. Определим рабочую емкость $C_{р.н}$ двигателей мощностью 1,1, 1,5 и 2,2 кВт (табл. 1), включенных по схеме, приведенной на рис. 8,2, на напряжение сети 380 в.

Номинальный ток двигателя АО2 22-6 равен:

$$I_n = \frac{P_n}{3U_n \cos \varphi_n \eta_n} = \frac{1,1 \cdot 10^3}{3 \cdot 220 \cdot 0,73 \cdot 0,76} = 3 \text{ а.}$$

Емкость $C_{р.н}$ определяем по (15):

$$C_{р.н} \approx 2740 \frac{I_n}{U} = 2740 \frac{3}{380} \approx 22 \text{ мкФ.}$$

Аналогичным образом производятся расчеты для остальных двигателей.

Построенные по данным расчетов кривые (рис. 23) иллюстрируют зависимость рабочей емкости $C_{р.н}$ от коэффициента мощности $\cos \varphi_n$ при одном и том же значении номинальной мощности асинхронного двигателя $P_n = \text{const.}$

13. РАБОТА КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ УСЛОВИЯХ, ОТЛИЧАЮЩИХСЯ ОТ НОМИНАЛЬНЫХ

Наиболее высокие энергетические показатели при эксплуатации конденсаторного двигателя достигаются при соблюдении следующих условий:

- 1) не происходит изменения частоты;

2) напряжение на зажимах машины равно номинальному;

3) токи обмоток не превышают номинальной величины.

Последнее условие применительно к схемам, приведенным на рис. 8, в, г, может быть записано в виде

$$I_{г.ф} \approx I_{к.ф} \approx I_{н.}$$

Выполнение этого равенства обеспечивается правильным выбором рабочей емкости и соответствующей нагрузкой на валу двигателя.

Изменение частоты не является сколько-нибудь существенным даже в энергосистемах местного значения, поэтому им можно пренебречь.

Непостоянство (снижение) напряжения обычно возникает в часы наибольшей нагрузки сети. При этом в значительно большей степени уменьшается вращающий момент, так как для асинхронного двигателя он пропорционален квадрату приложенного напряжения. Так, например, понижение напряжения сети на 30% вызывает уменьшение момента в 2 раза. В результате такого снижения напряжения двигатель либо остановится, либо будет продолжать вращаться с повышенным скольжением (потребляя большой ток), что может вызвать недопустимый перегрев статорных обмоток, составляющих главную фазу. Отмеченное важное обстоятельство следует иметь в виду, особенно при питании двигателей от сельских электросетей с источниками небольшой мощности.

При длительной эксплуатации двигателя с пониженным напряжением необходимо производить соответствующее уменьшение нагрузки.

К нежелательным последствиям с точки зрения нагрева статорных обмоток может привести также несоблюдение третьего условия. Действительно, при всякой нагрузке, превышающей номинальную, перегружается ток главной фазы. То же самое происходит с конденсаторной фазой, только в случае работы с недогрузкой. На холостом ходу ток конденсаторной фазы при выборе рабочей емкости по приведенным соотношениям достигает 120—140% номинального. В последнем случае электрические потери возрастают в 2 раза по сравнению с потерями при номинальном токе.

Сказанное позволяет сделать следующие выводы:

нельзя допускать длительную перегрузку или длительную работу двигателя без нагрузки;

при работе двигателя с недогрузкой величину рабочей емкости конденсатора необходимо уменьшать

Так, для нагрузки, составляющей 50% номинальной, можно принять

$$C_p \approx 0,85 C_{p.n.}$$

Ток конденсаторной фазы при этом не превышает номинальной величины.

Воспользовавшись графиком, представленным на рис. 24, легко определить рабочую емкость конденсатора для любой произвольной нагрузки. С этой целью, выразив полезную

мощность P_2 в процентах номинальной мощности P_n , находим соответствующее отношение $C_p/C_{p.n.}$, а затем и искомую величину емкости. Так, например, для $P_2 = 0,75 P_n$ отношение $C_p/C_{p.n.} = 0,93$ (см. стрелки на рис. 24). Следовательно, $C_p = 0,93 C_{p.n.}$

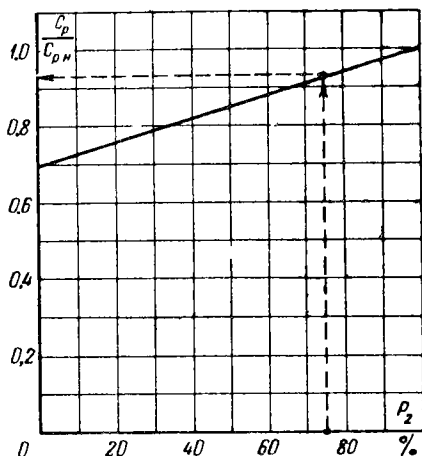


Рис. 24. Зависимость рабочей емкости от нагрузки.

14. УЛУЧШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Конденсаторный двигатель прост по конструкции, имеет высокий коэффициент мощности, работает от двухпроводной и, в частности, от осветительной сети.

Как было отмечено, применение рациональных схем включения создает возможность получения достаточного пускового момента и приводит к улучшению использования мощности машины. Одну из таких схем (рис. 8,г) будем иметь в виду при дальнейшем изложении.

Несмотря на отмеченные положительные свойства, эксплуатация конденсаторного двигателя с рабочей и отключаемой емкостями характеризуется рядом определенных недостатков. Основные из них заключаются в следующем:

для создания необходимого пускового момента приходится включать в цепь конденсаторной фазы дополнительную емкость, отключаемую после пуска. При разры-

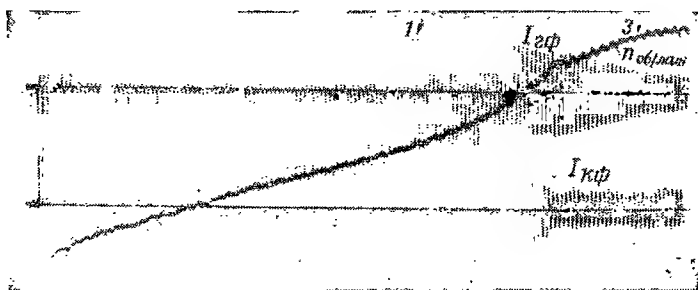


Рис. 25. Осциллограммы, снятые при пуске конденсаторного двигателя с отключаемой емкостью.

1 — ток главной фазы; 2 — ток конденсаторной фазы; 3 — скорость вращения.

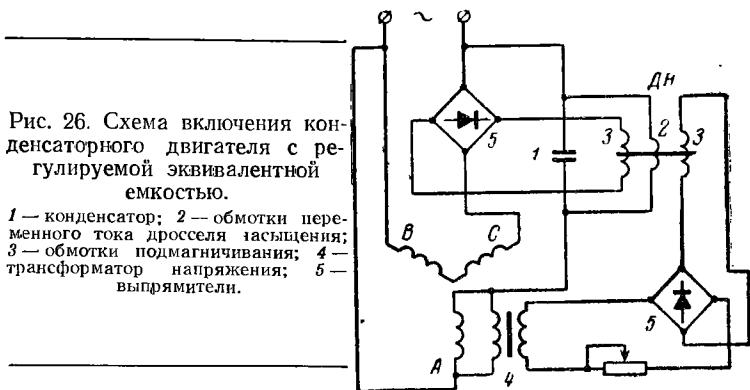
ве цепи отключаемой емкости возникающее в месте разрыва искрение уменьшает безопасность эксплуатации двигателя, особенно во взрывоопасных помещениях. Кроме того, резкое уменьшение тока конденсаторной фазы после отключения дополнительной емкости связано с появлением динамических толчков и уменьшением ускорения ротора, что подтверждается осциллограммами (рис. 25);

описанный выше характер изменения тока конденсаторной фазы приводит к ухудшению использования двигателя и уменьшению его перегрузочной способности;

холостой ход конденсаторного двигателя с постоянной величиной рабочей емкости $C_{р.н}$ не только нежелателен, но и опасен, так как ток конденсаторной фазы, достигая в этом случае наибольшего значения, может вызвать недопустимый перегрев обмотки.

Расширение области применения конденсаторного двигателя непосредственно связано с устранением отмеченных недостатков.

Ограничение тока конденсаторной фазы при холостом ходе может быть достигнуто уменьшением емкости кон-



денсатора. Чтобы далее (с увеличением нагрузки) ток конденсаторной фазы увеличивался, необходимо производить соответствующее увеличение емкости, т. е. осуществлять ее регулирование. Желательно, чтобы последнее совершалось плавно и автоматически, начиная с момента пуска двигателя.

Автоматическое регулирование эквивалентной емкости или тока конденсаторной фазы может быть достигнуто различными способами. Один из них основывается на использовании в схеме дросселя насыщения (ДН). Развитие автоматизации производственных процессов в промышленности привело к значительному распространению ДН, что объясняется известными экономическими и эксплуатационными достоинствами этих аппаратов.

Рассмотрим схему включения конденсаторного двигателя (рис. 26), в которой обмотки переменного тока ДН включены на напряжение конденсатора [Л. 10].

Дроссель насыщения имеет две обмотки подмагничивания, включенные встречно. Ток одной из них пропорционален току главной фазы двигателя, ток другой — напряжению на конденсаторной фазе.

Первая обмотка имеет небольшое число витков. Действие н. с. этой обмотки проявляется тем сильнее, чем больше скольжение, т. е. чем больше ток главной фазы.

Основной является вторая обмотка подмагничивания с большим числом витков. Действие н. с. этой обмотки,

наоборот, проявляется тем сильнее, чем меньше скольжение, что объясняется характером изменения напряжения на конденсаторной фазе с изменением нагрузки.

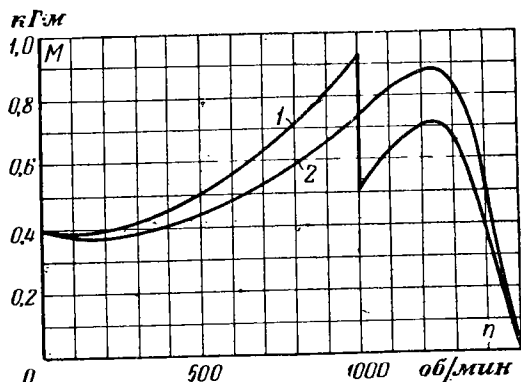


Рис. 27. Механические характеристики конденсаторного двигателя.

В первый момент пуска переменный ток ДН должен быть возможно малым. Очевидно, что при равенстве н. с. обмоток подмагничивания он будет равен току холостого хода ДН. Соблюдение равенства н. с. обмоток подмагничивания достигается благодаря тому, что по главной фазе двигателя проходит наибольший (пусковой) ток, а напряжение на конденсаторной фазе в момент пуска практически в 2 раза меньше напряжения по окончании пуска. В результате ток на выходе параллельного участка, образованного конденсатором и обмотками переменного тока ДН, т. е. ток конденсаторной фазы, достигает своего наибольшего значения, определяемого величиной установленной емкости. Незначительным током первичной обмотки трансформатора напряжения пренебрегаем.

По мере увеличения скорости вращения двигателя возрастает результирующая н. с. подмагничивания, вызывая насыщение дросселя. Переменный ток ДН при этом увеличивается, а ток конденсаторной фазы уменьшается. При холостом ходе двигателя результирующая н. с. подмагничивания ДН достигает наибольшего значения, вследствие чего ток конденсаторной фазы становится наименьшим.

Увеличение нагрузки на валу двигателя вызывает уменьшение результирующей н. с. подмагничивания, отчего переменный ток ДН уменьшается, а ток конденсаторной фазы возрастает. Уменьшение нагрузки приводит к обратному результату.

На рис. 27 представлены механические характеристики двигателя АОЛ-32-4 мощностью 1 квт, полученные опытным путем. Характеристика 1 относится к схеме с пусковой и рабочей емкостями (рис. 8,2). Характеристика 2 относится к схеме, приведенной на рис. 26. Как видно из схемы, пусковой момент двигателя для данной емкости конденсатора остается практически одним и тем же в обоих случаях. При разгоне двигателя характеристика 2 проходит несколько ниже характеристики 1, что объясняется уменьшением эквивалентной емкости при возрастании переменного тока ДН.

Отключение пускового конденсатора в случае использования схемы, приведенной на рис. 8,2, резко уменьшает вращающий момент (вертикальный участок характеристики 1).

Для схемы, приведенной на рис. 26, наоборот, характерны плавный пуск двигателя, увеличенная перегрузочная способность и работа при данной нагрузке на валу с несколько меньшим скольжением.

Для иллюстрации приведем пример применения схемы, показанной на рис. 26, в условиях электрической тяги. Целесообразность использования асинхронного конденсаторного двигателя в электрической тяге подтверждается следующим:

двигатель имеет жесткую скоростную характеристику, вследствие которой средняя скорость вращения лишь на несколько процентов отличается от синхронной. Таким образом, буксование при движении ограничивается;

при сверхсинхронной скорости вращения (движение под уклон) машина автоматически переходит в генераторный режим, производя тормозное действие;

как конденсаторный, двигатель работает с высоким коэффициентом мощности.

Опытный образец электровоза подвесной дороги с конденсаторным двигателем [Л. 11] показан на рис. 28.

Двигатель электровоза АОЛ 32-4, 1 квт, 127/220 в включен по схеме, приведенной на рис. 26, на напряжение сети 220 в.

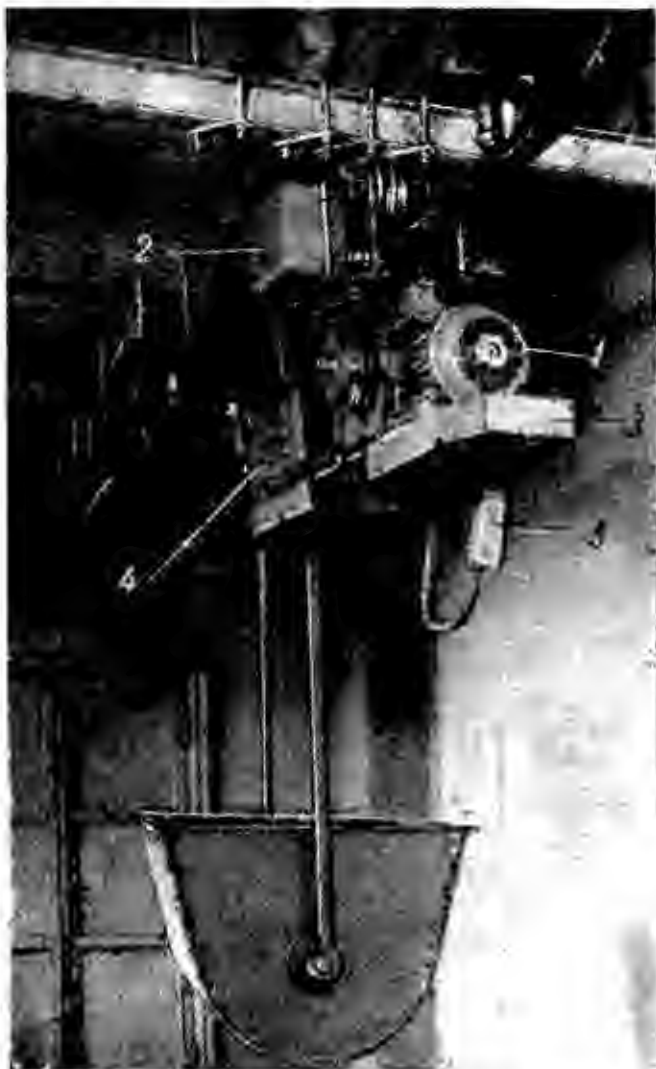


Рис. 28. Электровоз подвесной дороги с конденсаторным двигателем.

1 — двигатель; 2 — реверсивный магнитный пускатель; 3 — коробки с конденсаторами; 4 — кожух трансформатора насыщения; 5 — кнопочная станция для ручного управления.

Контактный провод (полосовая сталь 6×30 мм) крепится на изоляторах. Вторым проводом служит заземленный рельс. Управление электровозом возможно как ручное (кнопочная станция реверсивного магнитного пускателя), так и автоматическое посредством конечных выключателей, установленных в пунктах выгрузки и отправления. Полезный вес состава 0,6 т.

Таким образом, одним из способов улучшения эксплуатационных свойств конденсаторного двигателя является применение регулируемой емкости.

Плавное и автоматическое изменение эквивалентной емкости с изменением скольжения проще всего достигается с помощью дросселей насыщения.

Схема конденсаторного двигателя с регулируемой эквивалентной емкостью имеет следующие достоинства:

пуск происходит без переключений в цепи конденсаторной фазы и динамических толчков, неизбежных при пуске с отключаемой емкостью;

уменьшается ток холостого хода конденсаторной фазы;

улучшается использование мощности двигателя;

увеличивается перегрузочная способность.

Схема включения конденсаторного двигателя с автоматически регулируемой эквивалентной емкостью, как бесконтактная и искробезопасная, может найти применение в электрической тяге, а также в стационарных установках небольшой мощности.

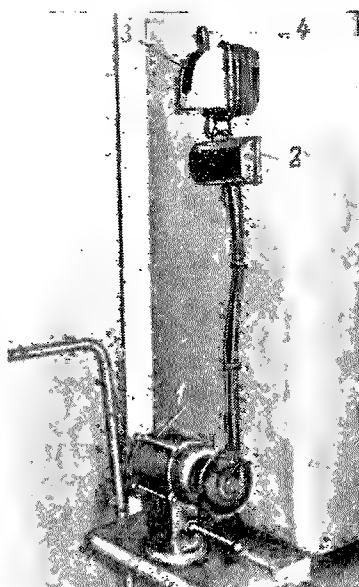


Рис. 29. Электроточилка с конденсаторным двигателем.

1 — двигатель; 2 — кожух из листовой стали с конденсаторами; 3 — рукоятка в положении *Пуск* (включена пусковая емкость); 4 — рукоятка в положении *Работа* (включена только рабочая емкость).

15. ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ОБСЛУЖИВАНИИ КОНДЕНСАТОРОВ

Использование конденсаторов в силовых электрических цепях, в частности в схемах включения конденсаторного двигателя, связано с необходимостью проведения обязательных мер, обеспечивающих безопасность обслуживающего персонала. Основной из них является устройство ограждений, исключающих возможность случайного прикосновения к открытым токоведущим частям, находящимся под напряжением. Желательно иметь сетчатые ограждения. При отсутствии металлической сетки они могут быть сделаны в виде кожуха из листовой стали (рис. 29).

Батарей конденсаторов необходимо надежно закрепить, чтобы предупредить смещение ее от возможных вибраций и сотрясений. Расположение батареи и устройство ограждений должны обеспечивать удобный доступ к конденсаторам.

Замена неисправных плавких вставок предохранителей производится только при замкнутом рубильнике в цепи отключаемой емкости. Каждый раз после выключения двигателя следует замыкать цепь с отключаемой емкостью, тем самым подготавливая схему к очередному пуску.

Необходимо иметь в виду, что конденсатор с исправной изоляцией после отключения сохраняет напряжение на зажимах в течение длительного времени. В наиболее неблагоприятном случае оно может достигать амплитуды напряжения переменного тока.

Опасность поражения электрическим током при прикосновении к заряженному конденсатору тем больше, чем больше его емкость и выше напряжение.

При производстве ремонтных работ и испытаниях после каждого отключения конденсатора производится его разряд. В качестве разрядного сопротивления проще всего использовать несколько электрических ламп накаливания, соединенных последовательно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Адаменко А. И., Однофазные конденсаторные двигатели, Изд-во АН УССР, 1960.
 2. Булаев Н. М., Питание однофазным током трехфазного асинхронного двигателя с конденсатором, «Электричество», 1937, № 12.
 3. Меркин Г. Б., Конденсаторные электродвигатели для промышленности и транспорта, изд-во «Энергия», 1966.
 4. Некрасов О. А., Рудничный конденсаторный электровоз КЭ-2, Углетехиздат, 1952.
 5. Петров Г. Н., Электрические машины, ч. II, Асинхронные и синхронные машины, Госэнергоиздат, 1963.
 6. Ренне В. Т., Электрические конденсаторы, Госэнергоиздат, 1952.
 7. Розенфельд В. Е., Крйцберг М. И., Тихменев Б. Н., Рудничный элекгровоз переменного тока с конденсаторными двигателями, «Электричество», 7, 1949.
 8. Сергеев П. С., Электрические машины, Госэнергоиздат, 1962.
 9. Конденсаторы, Государственные стандарты, Стандартгиз, 1960.
 10. Торопцев Н. Д., Авторское свидетельство № 107711 на «Бесконтактное устройство для автоматического управления одио-фазным асинхронным двигателем» от 31 июля 1957 г. с приоритетом от 4 июля 1956 г. Бюлл. изобрет. № 7, 1957.
 11. Торопцев Н. Д., Золотов С. П., Григорьев-Ершов В. А., Авторское свидетельство № 110660 на «Электровоз для монорельсовых подвесных дорог» от 2 декабря 1957 г. с приоритетом от 21 апреля 1956 г. Бюлл. изобрет. № 12, 1957.
 12. Торопцев Н. Д., Применение трехфазного асинхронного двигателя в схеме однофазного включения с конденсатором, Госэнергоиздат, 1963.
-

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	3
1. Асинхронный двигатель трехфазного тока. Основные технические данные	4
2. Работа асинхронного двигателя с тремя статорными обмотками от сети однофазного тока. Способы пуска	9
3. Конденсаторный двигатель	14
4. Конденсаторы	17
5. Электрические схемы конденсаторного двигателя	20
6. Определение рабочей и пусковой емкости	22
7. Напряжение на конденсаторе	25
8. Выбор схемы включения	27
9. Графическое изображение синусоидальных величин	32
10. Графики зависимостей токов и напряжений конденсаторного двигателя от нагрузки	38
11. Векторные диаграммы конденсаторного двигателя	43
12. Расчетное определение рабочей емкости	50
13. Работа конденсаторного двигателя при условиях, отличающихся от номинальных	53
14. Улучшение эксплуатационных свойств конденсаторного двигателя	55
15. Техника безопасности при обслуживании конденсаторов	62
Литература	63

Цена 12 коп.